

LUCIANA IODICE RODRIGUES

Integração dos processos do *Lean Design* e do BIM no desenvolvimento e execução de projetos na construção civil, em comparação com os métodos utilizados no setor industrial francês

São Paulo

2020

LUCIANA IODICE RODRIGUES

Integração dos processos do *Lean Design* e do BIM no desenvolvimento e execução de projetos na construção civil, em comparação com os métodos utilizados no setor industrial francês

Versão Original

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Gestão de Processos na Construção

Área de Concentração: Gestão de Projetos na Construção

Orientador: Prof. Roberto Mingroni

São Paulo
2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-Publicação

Rodrigues, Luciana Iodice

Integração dos processos do *Lean Design* e do BIM no desenvolvimento e execução de projetos na construção civil, em comparação com os métodos utilizados no setor industrial francês / L. I. Rodrigues – São Paulo, 2020.

117 p.

Monografia (Especialização em Gestão de Projetos na Construção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-Integra.

1. *Lean Design* na construção civil 2. BIM no desenvolvimento de projetos 3. Processo de projeto na construção I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Poli-Integra II.t.

Dedico esta monografia aos meus pais,
pelo apoio incondicional em todos os momentos difíceis
da minha trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão, pelo incentivo aos estudos e por sempre estarem ao meu lado.

Ao Professor Roberto Mingroni, pela orientação e pela motivação ao longo de toda pesquisa.

Ao Antônio Sergio Itri Conte, pela colaboração e facilitação da elaboração do estudo de caso.

Ao Anthony Laffargue, por toda a ajuda, apoio e inspiração durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Às duas empresas e aos profissionais entrevistados neste trabalho, por seu tempo e informações compartilhadas.

Por fim, aos meus amigos, por todo companheirismo e pela grande contribuição para o enriquecimento do meu trabalho.

RESUMO

RODRIGUES, L. I. **Integração dos processos do *Lean Design* e do BIM no desenvolvimento e execução de projetos na construção civil, em comparação com os métodos utilizados no setor industrial francês.** 2020. 117 p. Monografia (Especialização em Gestão de Projetos na Construção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

No setor da construção civil, o processo de desenvolvimento de projetos possui grande importância no resultado final do produto e na satisfação do cliente. Normalmente, os problemas ou erros projetuais se manifestam durante a fase da execução, ocasionando atrasos no cronograma e aumento nos custos; para que isso seja evitado, o processo de desenvolvimento do projeto precisa ser otimizado. Diante dessa necessidade, uma forma de inovação encontrada consiste na aplicação do *Lean* integrado ao sistema BIM na elaboração de projetos; trata-se, no entanto, de um tema ainda pouco difundido e discutido no Brasil, justificando a relevância desta pesquisa. Assim, este trabalho tem por objetivo apresentar técnicas de otimização do desenvolvimento do projeto, por meio da aplicação dos conceitos do *Lean* e do BIM na fase de concepção do *design*. Além disso, por meio de comparações, buscou-se relatar os métodos adotados em dois diferentes setores – construção civil e indústria, em dois diferentes países. A metodologia adotada no desenvolvimento deste trabalho baseou-se em referências bibliográficas, seguidas de um estudo de caso exploratório, coleta de dados e análise crítica dos pontos identificados. Através do estudo de caso, desenvolveu-se uma análise de boas práticas do *Lean* de uma indústria francesa, com o intuito de transmitir os sucessos e adaptá-los ao setor da construção. Os resultados obtidos nesta pesquisa, além de revelarem a importância do assunto, poderão contribuir para futuros estudos e possíveis estratégias de aplicação durante o ciclo de vida do projeto, tendo em vista o amadurecimento do setor.

Palavras-chave: *Lean Design* na construção civil. BIM no desenvolvimento de projetos. Processo de projeto na construção.

ABSTRACT

RODRIGUES, L. I. **Integration of Lean Design and BIM processes in the development and execution of projects in civil construction, in comparison with the methods used in the French industrial sector.** 2020. 117 p. Monograph (Specialization in Project Management in Construction) - Polytechnic School, University of São Paulo, São Paulo, 2020.

In the civil construction sector, the process for project development is key in the result and also in customer satisfaction. Generally, problems or design issues are detected during the execution phase, causing delays in the schedule and additional costs. In order to avoid such concerns, this process needs to be efficient and optimized. Taking this into consideration, recent innovations has led to an integration of essential concepts in the design phase, bringing together Lean Design and Building Information Modeling (BIM). This integration is becoming more and more developed in many countries, and its results are promising. And since it has not been promoted yet in Brazil and in addition with a clear lack of information on this topic, this research is justified. The aims of this work was to present methodologies for optimizing the projects development, by applying the concepts of Lean and BIM in the design conception phase. In addition, through comparisons, the author has decided to focus on its implementation into two central sectors – civil construction and industry – in two different countries. As a method for developing this work, bibliographic references were used, followed by an exploratory case study, data collection and critical analysis. Through the case study, an analysis of good Lean practices from a French industry was developed in order to transmit the successes and adapt it to the construction sector. The results obtained in this research, showed the great relevance of the subject. In addition, it contributes for future researches but also proposals possible strategies of application during project life cycle for the maturation of the sector.

Keywords: Lean Design in civil construction. BIM in project development. Design process in construction.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Levantamento de publicações que descrevem a aplicação do <i>Lean</i> em cada setor | 15 |
| Figura 2 – Curva de comprometimento do custo do produto..... | 21 |
| Figura 3 – Impacto da variabilidade com base no tempo decorrido do projeto | 22 |
| Figura 4 – Processo de desenvolvimento do projeto e as etapas do empreendimento | 23 |
| Figura 5 – Função do coordenador | 25 |
| Figura 6 – Estrutura Matricial Genérica..... | 26 |
| Figura 7 – Fluxo do processo de projeto | 27 |
| Figura 8 – Sistema enxuto de DP..... | 28 |
| Figura 9 – Sistema <i>Lean</i> de desenvolvimento de projetos..... | 32 |
| Figura 10 – Etapas desenvolvidas dentro do <i>Lean Design</i> | 35 |
| Figura 11 – Definição do processo de projeto | 35 |
| Figura 12 – Metodologia de melhorias para o desenvolvimento de projeto | 37 |
| Figura 13 – Metodologia para identificar os desperdícios e problemas no projeto.... | 37 |
| Figura 14 – Desperdícios encontrados durante o processo de projeto | 38 |
| Figura 15 – Comparação entre o custo tradicional (EUA) e o <i>Target Cost</i> | 39 |
| Figura 16 – Engenharia Sequencial x Engenharia Simultânea | 41 |
| Figura 17 – Exemplo de <i>Kanban</i> | 47 |
| Figura 18 – Funções do <i>Kanban</i> e suas regras..... | 48 |
| Figura 19 – Estrutura do processo do Sistema <i>Last Planner</i> | 49 |
| Figura 20 – Diagrama do cronograma do projeto com ênfase no ponto crítico | 51 |
| Figura 21 – Ciclo de vida do projeto com a utilização do BIM..... | 52 |
| Figura 22 – Diferentes dimensões do BIM | 55 |
| Figura 23 – Nível de maturidade | 58 |
| Figura 24 – Relação entre a gestão do projeto e a gestão do modelo..... | 60 |
| Figura 25 – Macrofluxo do processo de projeto e modelagem..... | 60 |
| Figura 26 – Estrutura do BIM em três eixos | 63 |
| Figura 27 – Taxonomia da estrutura BIM | 63 |
| Figura 28 – Estágios de evolução do BIM..... | 64 |
| Figura 29 – Ciclo de vida do projeto na fase do BIM Estágio 1 | 65 |

| | |
|--|----|
| Figura 30 – Ciclo de vida da fase BIM Estágio 2..... | 65 |
| Figura 31 – Ciclo de vida da fase BIM Estágio 3..... | 66 |
| Figura 32 – Sistema contratual IPD..... | 66 |
| Figura 33 – Curva MacLeamy | 67 |
| Figura 34 – Teoria da produção na construção..... | 69 |
| Figura 35 – Fluxo do desenvolvimento do projeto..... | 71 |
| Figura 36 – Exemplo de mecanismo de bloqueio para preservar a consistência dos dados | 73 |
| Figura 37 – Utilização do BCF no processo de projeto | 74 |
| Figura 38 – Problemas identificados dentro do projeto e sugestões de soluções | 77 |
| Figura 39 – Benefícios da integração do <i>Lean</i> e do <i>BIM</i> | 79 |
| Figura 40 – Ciclo de vida do projeto com aplicação do CAD, CAM e CAE | 81 |
| Figura 41 – Integração do CAD, CAM e CAE através da base de dados | 82 |
| Figura 42 – Organização da empresa | 83 |
| Figura 43 – Foto da loja inaugurada..... | 84 |
| Figura 44 – Modelo digital do projeto no <i>software</i> Revit..... | 85 |
| Figura 45 – Processo de construção da obra..... | 86 |
| Figura 46 – Foto da obra | 86 |
| Figura 47 – Tipo construtivo adotado | 87 |
| Figura 48 – Estrutura organizacional da empresa..... | 89 |
| Figura 49 – Estrutura organizacional da Empresa B | 90 |
| Figura 50 – Estrutura da Empresa B | 90 |
| Figura 51 – Guia PS da Empresa B | 91 |
| Figura 52 – Fotos para identificação dos problemas..... | 92 |
| Figura 53 – <i>Layout</i> existente da fábrica | 93 |
| Figura 54 – Novo <i>layout</i> apresentado ao final do treinamento | 93 |
| Figura 55 – <i>Software</i> CREO..... | 94 |
| Figura 56 – Ciclo do projeto | 95 |
| Figura 57 – Processos do ciclo do projeto (<i>design</i>)..... | 95 |
| Figura 58 – Processo de montagem de um componente de série | 96 |
| Figura 59 – <i>Softwares</i> de gerenciamento..... | 96 |
| Figura 60 – Projeto do disjuntor | 97 |
| Figura 61 – Comparação de testes e simulações | 98 |

| | |
|--|-----|
| Figura 62 – Utilização do Vistable dentro da empresa | 98 |
| Figura 63 – Meshroom, implantação da realidade virtual | 99 |
| Figura 64 – Exemplo da biblioteca BIM | 99 |
| Figura 65 – Exemplo de edifício que utiliza os componentes da empresa dentro do modelo Revit | 100 |
| Figura 66 – Comparação dos acertos e equívocos das Empresas A e Y | 106 |
| Figura 67 – Resumo do ciclo do projeto em cada empresa | 107 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 – Principais princípios do <i>Lean</i> | 68 |
| Tabela 2 – Funcionalidades do BIM | 69 |
| Tabela 3 – Comparação entre <i>Lean</i> e BIM | 70 |
| Tabela 4 – Distribuição de tempo na fase do desenvolvimento de projeto | 72 |
| Tabela 5 – Tempo de espera na fase do desenvolvimento de projeto | 72 |
| Tabela 6 – Boas práticas identificadas na Empresa X | 101 |
| Tabela 7 – Princípios BIM, Empresas Y e A..... | 102 |
| Tabela 8 – Princípios <i>Lean</i> , Empresas X, Y e A..... | 103 |
| Tabela 9 – Grau de desenvolvimento da Empresa Y | 104 |
| Tabela 10 – Grau de desenvolvimento da Empresa A | 104 |
| Tabela 11 – Ferramentas utilizadas na Empresa Y..... | 108 |
| Tabela 12 – Ferramentas utilizadas Empresa A..... | 109 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AIA | <i>American Institute of Architects</i> |
| AQUA | Alta Qualidade Ambiental |
| BCF | <i>BIM Collaboration Format</i> |
| BIM | <i>Building Information Modelling</i> |
| CAD | <i>Computer Aided Design</i> |
| CAE | <i>Computer Aided Engineering</i> |
| CAM | <i>Computer Aided Manufacturing</i> |
| CAVT | <i>Computer Advanced Visualization Tools</i> |
| CBIC | Câmara Brasileira da Indústria da Construção |
| CDE | <i>Common Data Environment</i> |
| DI | Densidade de Interferências |
| DP | Desenvolvimento do Produto |
| DSM | <i>Design Structure Matrix</i> |
| ES | Engenharia Simultânea |
| EAP | Estrutura Analítica do Projeto |
| EAM | Estrutura Analítica do Modelo |
| FEM | <i>Finite-Element Method</i> |
| FM | <i>Facility Management</i> |
| HQE | <i>Haute Qualité Environnementale</i> |
| ICD | Indicador Chave de Desempenho |
| IPD | <i>Integrated Project Delivery</i> |
| JIT | <i>Just-in-Time</i> |
| LEED | <i>Leadership in Energy and Environmental Design</i> |
| LOD | <i>Level of Development</i> |
| PDP | Processo de Desenvolvimento do Produto |
| PLM | <i>Product Lifecycle Management</i> |
| PMI | <i>Project Management Institute</i> |
| PS | <i>Production System</i> |
| STP | Sistema Toyota de Produção |
| USGBC | <i>United States Green Building Council</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | Justificativa | 14 |
| 1.2 | Objetivos..... | 16 |
| 1.2.1 | Objetivo Principal..... | 16 |
| 1.2.2 | Objetivos Secundários..... | 16 |
| 1.3 | Metodologia | 17 |
| 1.4 | Estruturação do Trabalho..... | 18 |
| 2. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 20 |
| 2.1 | Processo de Desenvolvimento do Projeto..... | 20 |
| 2.2 | Fases do Projeto | 22 |
| 2.3 | A Origem da Mentalidade Enxuta – <i>Lean Thinking</i> | 24 |
| 2.4 | <i>Lean Design</i>..... | 26 |
| 2.4.1 | Os 13 Princípios do <i>Lean Design</i> | 27 |
| 2.4.2 | <i>Lean Design</i> na Construção Civil | 31 |
| 2.4.3 | Metodologias e Ferramentas Correlatas ao <i>Lean Design</i> | 40 |
| 2.5 | <i>Lean Manufacturing</i>..... | 43 |
| 2.5.1 | <i>Kaizen</i> | 45 |
| 2.5.2 | <i>Just-in-Time</i> (JIT) | 45 |
| 2.6 | <i>Lean Construction</i>..... | 48 |
| 2.6.1 | Sistema <i>Last Planner</i> | 49 |
| 2.6.2 | Corrente Crítica na Construção | 51 |
| 2.7 | <i>Building Information Modeling</i> (BIM)..... | 52 |
| 2.7.1 | Definição de BIM | 52 |
| 2.7.2 | Nível de Desenvolvimento (LOD) | 53 |
| 2.7.3 | Modelagem 4D, 5D, 6D e 7D..... | 55 |
| 2.7.4 | Principais Usos e Benefícios | 56 |
| 2.7.5 | Nível de Maturidade | 58 |
| 2.8 | Integração de <i>Lean</i> e BIM na Construção Civil | 67 |
| 2.8.1 | Integração de BIM e <i>Lean Design</i> durante a Fase de Concepção do Projeto. 67 | |
| 2.8.2 | Integrando BIM e <i>Lean Construction</i> durante a Fase de Projeto..... | 74 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 2.8.3 | Problemas Identificados durante a Integração | 75 |
| 2.8.4 | Integração do <i>Lean</i> com o BIM após a fase da construção..... | 78 |
| 2.8.5 | Conclusão dos Benefícios da Integração do <i>Lean</i> e do BIM nas Diferentes Fases | 79 |
| 2.9 | CAD, CAM e CAE..... | 80 |
| 3. | ESTUDO DE CASO | 83 |
| 3.1 | Empresa Construtora A | 83 |
| 3.1.1 | Fase de Projeto | 84 |
| 3.1.2 | Pré-Execução | 85 |
| 3.1.3 | Execução..... | 86 |
| 3.2 | Empresa B | 88 |
| 3.2.1 | Aplicação do <i>Lean Manufacturing</i> na Produção – Empresa X..... | 91 |
| 3.2.2 | Aplicação do CAE no Desenvolvimento de Projeto – Empresa X | 94 |
| 3.2.3 | Aplicação do BIM no Produto Final – Empresa Y..... | 99 |
| 3.2.4 | Boas Práticas Identificadas na Empresa X..... | 101 |
| 3.3 | Conclusões dos Estudos de Caso..... | 102 |
| 3.3.1 | Identificação de Melhorias a serem Implementadas no Ciclo do Projeto . | 105 |
| 3.3.2 | Grau de Desenvolvimento <i>Lean</i> e BIM nas Empresas | 107 |
| 3.3.3 | Comparação entre Indústria e Construção Civil | 109 |
| 4. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 111 |
| | REFERÊNCIAS..... | 113 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

No setor da construção civil, o resultado do desenvolvimento do projeto possui grande influência na qualidade do empreendimento e na satisfação do cliente. Segundo Melhado (2002), diante das evoluções desse setor, as empresas construtoras vêm aprimorando seus processos de produção no sentido de reduzir custos e adequar os produtos ofertados às condições de mercado. Com as alterações nas estratégias das empresas, observou-se um deslocamento do foco da busca de competitividade para a necessidade de ganhar eficiência na produção, “[...] desencadeando um processo de alterações organizacionais e tecnológicas”. (MELHADO, 2002, p. 6).

Franco (2016) descreve que uma das formas de inovação no processo de desenvolvimento de projeto aborda a aplicação da mentalidade enxuta, na qual se agrega valor ao produto na perspectiva do cliente, eliminando o desperdício no processo ou no produto.

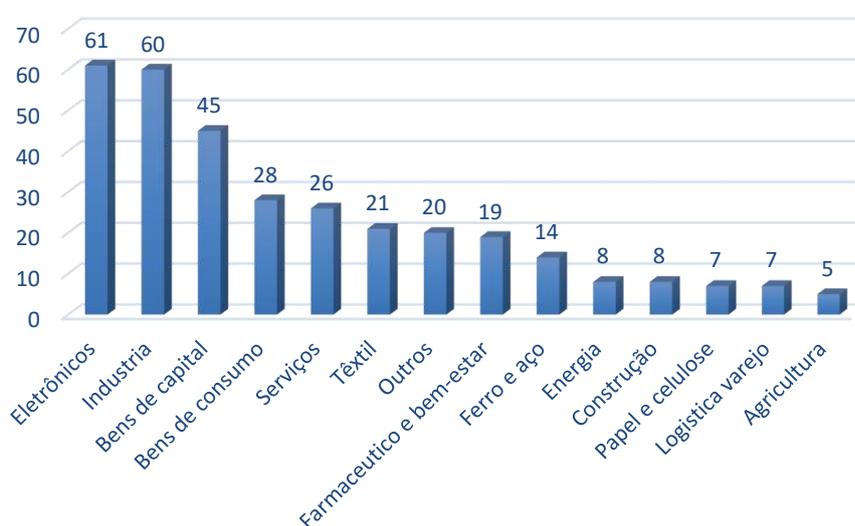
A mentalidade enxuta, termo designado nesta pesquisa como *Lean Thinking*, tem sua origem no setor da indústria automobilística, que adotou por objetivo a substituição da produção em massa pela produção enxuta. Segundo Shingo (1996), a produção em massa era utilizada pelas empresas norte-americanas, que produziam em grande escala com o intuito de reduzir o custo da mão de obra por unidade devido à grande produção e, conseqüentemente, vender em quantidades maiores. No entanto, a produção enxuta era a antítese da produção de grandes lotes. De acordo com Womack e Jones (1998), o *Lean Thinking* tem o ideal de produzir cada vez mais com menos e, ao mesmo tempo, satisfazer as necessidades do cliente.

Nesta pesquisa, foram analisados os conceitos e princípios do *Lean (Thinking, Manufacturing, Design & Construction)* nos diferentes setores do desenvolvimento do produto, com destaque para Womack e Jones (1998), que apresentaram seus cinco princípios, abordados no item 2.3, e apontaram as técnicas utilizadas para o desenvolvimento do produto; para Morgan e Liker (2006), que desenvolveram os treze princípios do *Lean*, aprofundados no item 2.5 desta monografia e separados em três

categorias: pessoas, processos e tecnologia; e para Koskela (1992), que adaptou os conceitos de *Lean* para o setor da construção (*Lean Construction*).

No entanto, no setor da construção, esse tema ainda é pouco difundido, especialmente nas empresas brasileiras. Dal Forno e Forcellini (2012) fizeram um levantamento das publicações voltadas para o processo do *Lean*; destas, 247 foram analisadas e apenas oito relatavam a aplicação do *Lean* na área de projetos (construção), conforme se observa na Figura 1.

Figura 1 – Levantamento de publicações que descrevem a aplicação do *Lean* em cada setor



Fonte: Dal Forno e Forcellini (2012), adaptado pela autora

Do mesmo modo, Carneiro e Barros Neto (2012) observaram que as publicações científicas sobre o tema *Lean* ainda são bastante escassas, pois, de 364 artigos analisados, apenas 19 relatavam a aplicação do conceito em projetos.

Outra vertente desta pesquisa que contribuiu para a inovação no processo de desenvolvimento de projeto, em conjunto com o *Lean Thinking*, é a implantação da *Building Information Modeling* (BIM) na fase inicial do projeto. Segundo Santos (2018d), BIM é um processo integrado para criar, usar e atualizar um modelo digital de uma construção, podendo ser utilizado por todos os participantes do empreendimento, potencialmente durante todo o ciclo de vida da construção.

Com a aplicação dessa metodologia no setor da construção, podem ser observados grandes impactos no processo de projeto. De acordo com Santos (2018d), o BIM proporciona diversos benefícios para o setor da construção civil, como por exemplo, a detecção antecipada de interferências entre disciplinas, a redução de riscos devido à modelagem virtual, o aumento de produtividade, o controle de prazo e a qualidade da obra, a melhora na qualidade dos projetos, a redução nos custos de projeto e produção e, por fim, a redução nos custos de operação e manutenção.

Dessa forma, pela inovação que o processo enxuto e o BIM podem proporcionar e pela escassez de conhecimento sobre essas metodologias correlacionadas, o desenvolvimento deste estudo como tema aplicável ao processo de projeto de edificações possui grande relevância, podendo contribuir tanto para a continuidade de pesquisas quanto para estratégias de aplicação no desenvolvimento de projetos e do setor.

Uma questão considerada ponto de partida para este trabalho e que tem a pretensão de, ao final, ser satisfatoriamente respondida é: Como melhorar a eficácia no processo de desenvolvimento de projeto quando *Lean Design* e BIM são combinados na fase inicial do projeto?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Principal

Esta monografia tem por objetivo apresentar técnicas de otimização do desenvolvimento do projeto, por meio da aplicação dos conceitos do *Lean* e do BIM na fase de concepção do produto. Pretende-se ainda identificar e avaliar a aplicação prática em dois casos reais, e discorrer sobre os métodos adotados em dois diferentes setores – construção civil e indústria de produção e montagem eletroeletrônica, em dois países distintos, diagnosticando seus impactos, acertos e equívocos.

1.2.2 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários prendem-se ao estudo e à análise das possíveis interações entre os princípios do *Lean Design* e as ferramentas do BIM,

principalmente na fase do projeto. Dessa forma, tem-se o intuito de apresentar as diferentes possibilidades de eficiência no desenvolvimento do processo do projeto.

Ademais, o estudo de um modelo industrial internacional que utiliza os princípios do *Lean Manufacturing* em seu processo de produção, associado aos conceitos do BIM e/ou da *Computer Aided Engineering* (CAE), possibilitará uma análise comparativa da implantação dos mesmos conceitos em uma empresa brasileira do setor da construção, diagnosticando impactos, acertos e equívocos. Portanto, esta pesquisa permitirá um estudo crítico e comparativo da indústria com uma empresa do setor da construção.

1.3 Metodologia

O método utilizado para o desenvolvimento deste trabalho foi, num primeiro momento, a revisão bibliográfica dos conceitos *Lean* (*Thinking, Manufacturing, Design e Construction*) e BIM; posteriormente, adotou-se a análise do estudo de caso único, seguida de uma avaliação crítica e comparativa, à luz de um exemplo internacional.

Na fase inicial, foram levantados artigos científicos nacionais e internacionais, além de livros, dissertações, teses e *websites* que abordam os temas em questão. Em especial, buscou-se identificar pesquisas que aplicam ambas as concepções (*Lean Design e BIM*) para desenvolvimento de projeto.

Após enriquecer conhecimentos com o estudo aprofundado dos dois conceitos, dividiu-se a pesquisa em três importantes fases: desenvolvimento de projeto, produto (projeto final) e execução, de modo que, em cada estágio do processo do projeto, fossem enfatizadas e confrontadas as possíveis otimizações/aperfeiçoamentos do projeto, com a utilização das ferramentas do BIM e do *Lean*, conforme discussão apresentada no item 3.3.3.

Esta monografia adotou como estratégia o estudo de caso exploratório de um caso único por tratar-se de tema pouco aplicado e conhecido dentro das empresas brasileiras. Do mesmo modo, Yin (2001) descreve que o objetivo do estudo de caso único é fazer uma análise “generalizante” e não “particularizante”, além de ser uma técnica utilizada quando se pretende estudar fenômenos contemporâneos.

Diante disso, de acordo com Yin (2001), o estudo de caso contribui de forma única para o entendimento dos fenômenos individuais, organizacionais, sociais e políticos, e é aplicado quando o pesquisador precisa responder às questões de “como” e “por quê”. Logo, foram elaborados alguns questionamentos que contribuiriam para o desenvolvimento desta pesquisa:

1. Por que a construção civil apresenta erros e atrasos na obra?
2. Como o *Lean Design* pode colaborar para o aprimoramento do desenvolvimento de projeto, na fase conceitual, com o auxílio do BIM?
3. Quais benefícios podem ser extraídos com o uso do *Lean Design* e do BIM para a etapa da construção?

Além disso, as empresas selecionadas – nacional e internacional – para os estudos de caso não possuem nenhum vínculo formal ou informal com a autora; a escolha baseou-se em opiniões de profissionais que têm conhecimento sobre o assunto da pesquisa.

1.4 Estruturação do Trabalho

Esta monografia está estruturada em quatro capítulos, a saber:

- O Capítulo 1 descreve o tema proposto, seus objetivos gerais e específicos, a metodologia de pesquisa adotada e a estrutura do trabalho.
- O segundo capítulo trata da revisão bibliográfica, com a apresentação dos princípios do *Lean* em seus diferentes setores (*Thinking, Manufacturing, Construction* e *Design*) e do BIM, bem como sua aplicabilidade em variados segmentos. Por fim, discorre sobre a junção dos dois conceitos estudados, aplicados na fase de concepção do projeto para melhorar e otimizar o ciclo de vida do projeto.
- Na sequência, inicia-se o estudo de caso com a caracterização das empresas e de suas estruturas organizacionais, seguida da abordagem dos princípios *Lean* e BIM, quando aplicados. Ao final, traça-se uma análise crítica dos casos internacionais (França) e nacionais.

- O Capítulo 4 discorre sobre as considerações finais que, por meio das análises críticas, possibilitarão a identificação de melhorias durante o processo de desenvolvimento do projeto no seu ciclo completo, além do fornecimento de temas passíveis de novas abordagens em pesquisas futuras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processo de Desenvolvimento do Projeto

Segundo Franco (2016), na área da construção, os conceitos de produto e de projeto são comumente confundidos em um empreendimento, já que, na área da edificação, não se utilizam as mesmas definições e termos aplicados na indústria de manufaturados. Dessa forma, esta pesquisa adotou as conceituações apresentadas pelo desenvolvimento de produto (DP) para designar o desenvolvimento de projeto na área da construção, “[...] por ser o processo responsável pela transformação de um conceito em um projeto edificável” (FRANCO, 2016, p. 36).

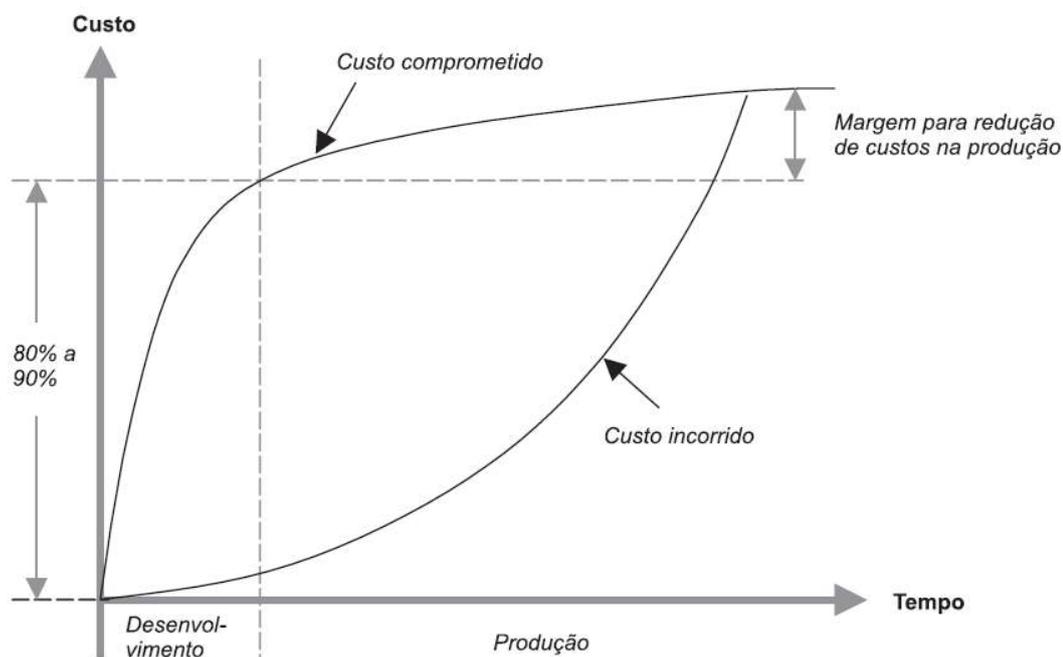
Rozenfeld et al. (2006) descrevem que o processo de desenvolvimento de produto (PDP) na área industrial está cada vez mais pressionado pela competitividade das empresas, devido ao aumento da internacionalização dos mercados, à crescente diversidade e variedade de produtos ofertados e às reduções do ciclo de vida dos produtos. Logo, com a demanda e a criação de novos produtos para atender às solicitações do mercado, novas tecnologias são integradas visando a adequação aos novos padrões e às restrições instituídas pela evolução do mercado.

Com essa competitividade entre as empresas, o PDP precisa adquirir um alto desempenho e agilidade para estar apto ao atendimento das demandas do mercado (ROZENFELD et al., 2006).

De acordo com Miron et al. (2002), entende-se por desenvolvimento do produto o processo através do qual esse produto é concebido, projetado, produzido e entregue ao cliente final; também se incluem nessa definição todas as atividades relacionadas à retroalimentação.

Na questão da concepção do produto, Rozenfeld et al. (2006) relatam que o custo inicial para o DP gira em torno de 85% do custo final do produto manufaturado, conforme pode ser observado na Figura 2. No entanto, nota-se que essa fase apresenta maior grau de incertezas, justamente quando devem ser tomadas as decisões necessárias à produção do produto. Apenas com o tempo do desenvolvimento do produto tais inseguranças vão diminuindo, pois a qualidade das informações torna-se mais precisa (ROZENFELD et al., 2006).

Figura 2 – Curva de comprometimento do custo do produto

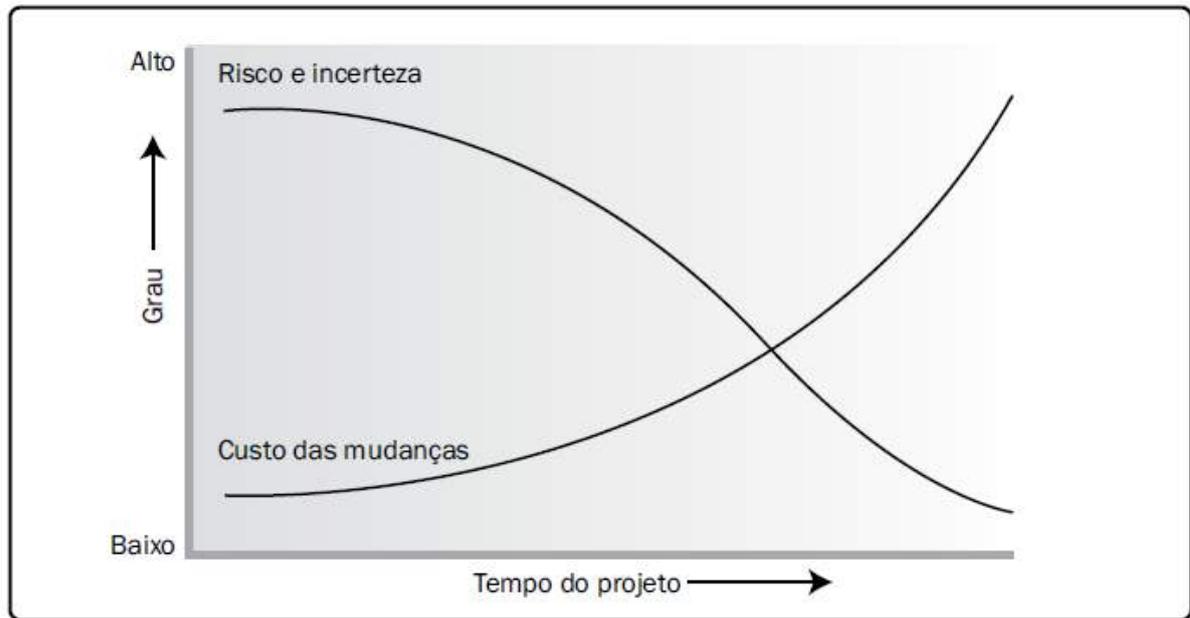


Fonte: Rozenfeld et al. (2006)

Nas fases iniciais do PDP são estabelecidas as principais soluções construtivas e as especificações do produto no setor industrial; nesse momento são determinados os materiais e as tecnologias a serem utilizados, os processos de fabricação, a forma construtiva, etc. Apesar de existir a possibilidade de caminhar ao longo do processo com soluções alternativas, as definições essenciais e centrais são determinadas nesse período (ROZENFELD et al., 2006).

Comparando a Figura 2, que ilustra o custo final do produto manufaturado, ao setor da construção civil, constatam-se alguns pontos de divergência, já que o grande custo no ciclo de vida do produto está na fase final, ou seja, na construção. Porém, deve-se considerar que o grande percentual dos custos de um produto é definido durante a concepção do produto/projeto, com a determinação de materiais ou o tipo construtivo adotado, mostrando sua significativa importância no custo final do produto (Figura 3).

Figura 3 – Impacto da variabilidade com base no tempo decorrido do projeto



Fonte: *Project Management Institute* (2013)

Dentro das atividades para o PDP existe uma sequência típica a ser seguida (Projetar-Construir-Testar-Otimizar) que, de acordo com Rozenfeld et al. (2006), pode tratar-se de um processo de produção ou de um produto. A seguir, o item 2.2 analisa as fases desenvolvidas no projeto.

2.2 Fases do Projeto

Para definir as fases do projeto, é necessário entender o significado de empreendimento, ou seja, o produto final do processo de projeto. O *Project Management Institute* (PMI, 2013) define que o empreendimento é característico de um esforço temporário, com o intuito de criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. Mesmo que cada projeto tenha sua particularidade com relação aos números de fases, todo empreendimento apresenta características em comum:

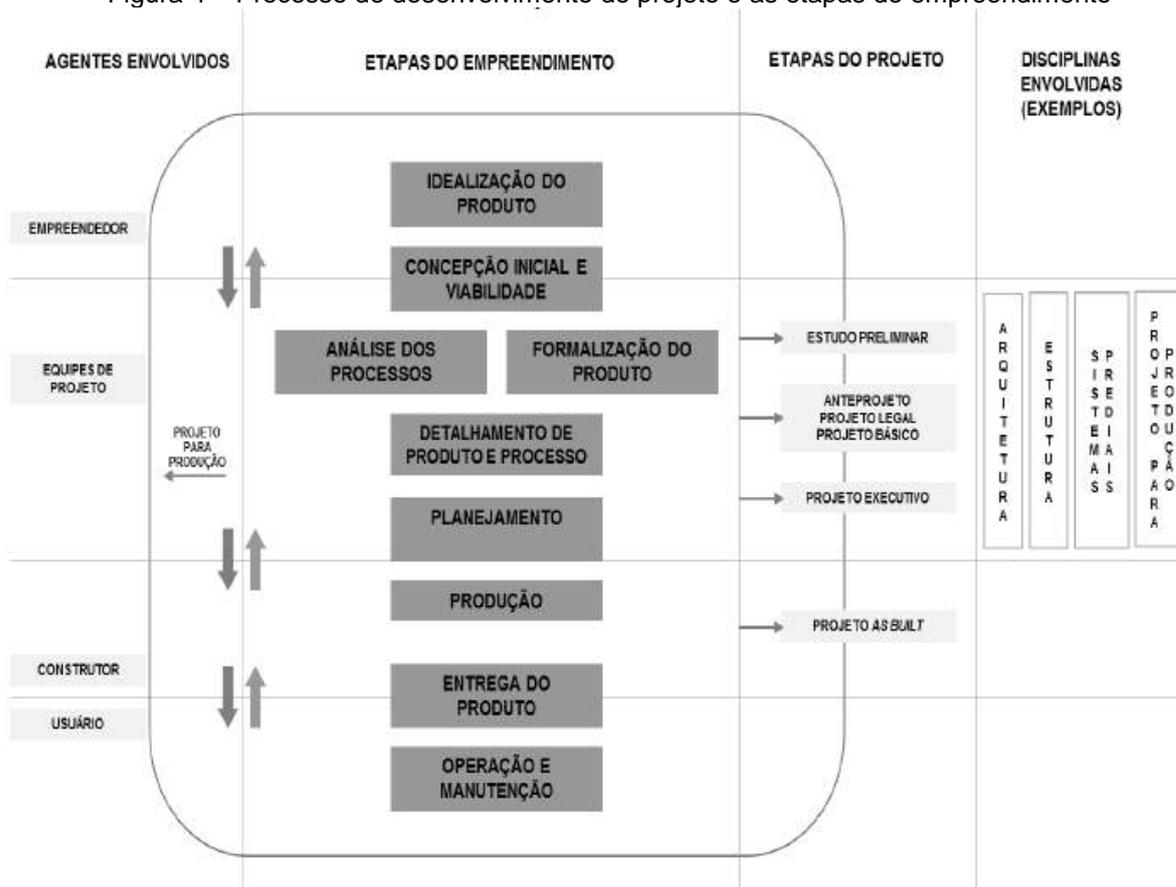
- Cada fase possui um foco e uma meta diferentes, que podem exigir organização e habilidades distintas.
- Quando do encerramento de uma fase e o início de outra, obrigatoriamente, verifica-se o *status* da entrega em questão.

Segundo Melhado (2001), um empreendimento contempla cinco principais fases:

- Montagem (estudos preliminares e programa de necessidades)
- Desenvolvimento do projeto e escolhas das empresas construtoras
- Organização e execução dos serviços (fases da preparação da obra e a gestão da sua execução)
- Entrega da obra
- Gestão do empreendimento – pós-ocupação

A seguir, a Figura 4 ilustra o processo de desenvolvimento do projeto e as etapas do empreendimento.

Figura 4 – Processo de desenvolvimento do projeto e as etapas do empreendimento



Fonte: Melhado et al. (2005)

Quando as etapas de execução são comparadas às do processo desenvolvido no setor da construção fora do Brasil, percebe-se uma diferenciação com relação ao

que é definido em cada estágio, na relevância do papel de cada agente nas respectivas fases, na passagem de uma fase para outra e na inter-relação entre elas (MELHADO, 2001).

Nesta pesquisa, o ciclo de vida de um projeto foi dividido em três estágios: desenvolvimento de projeto (concepção), projeto final e execução. Dessa forma, em cada estágio, demonstram-se os benefícios e otimizações do processo de projeto com a aplicação das interações dos conceitos *Lean* e BIM.

2.3 A Origem da Mentalidade Enxuta – *Lean Thinking*

Para Dal Forno e Forcellini (2012), o termo *Lean Thinking* pauta sua abordagem na busca por eliminar ou reduzir desperdícios que causam danos ao sistema de produção. Os autores relatam que o foco sempre esteve nas necessidades do cliente e nos processos que agregam valor em termos de prazo, preço, qualidade e entrega, incluindo serviços sociais e critérios ambientais. Esse conceito de produção não é recente, pois as empresas japonesas começaram a utilizá-lo a partir de 1950, durante o período do pós-guerra, no setor da indústria automobilística, denominando-o Sistema Toyota de Produção (STP).

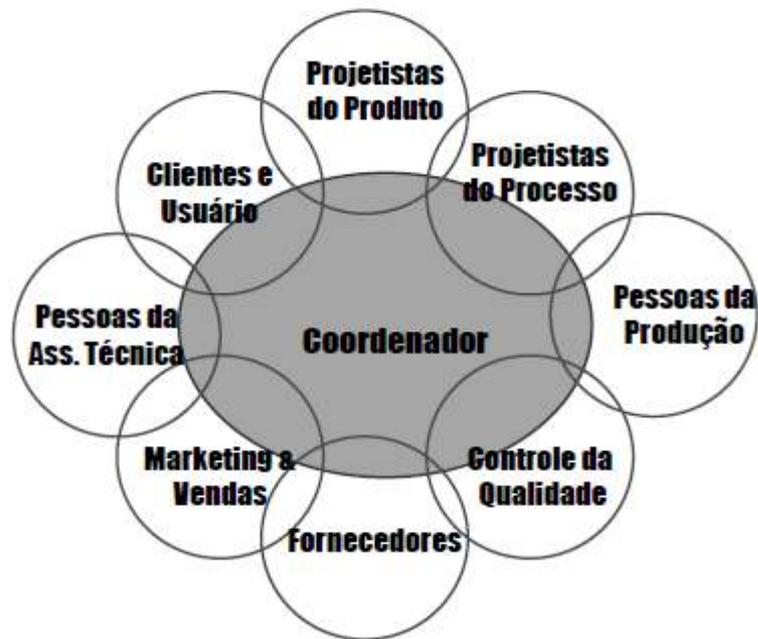
Por seu turno, Womack e Jones (1998) definiram cinco princípios do *Lean Thinking*:

1. **Valor:** definição do valor sob a ótica do cliente.
2. **Fluxo de valor:** é o conjunto de ações específicas dirigidas a um produto específico.
3. **Fluxo contínuo:** posteriormente à especificação precisa do valor, ao mapeamento do fluxo de valor pela empresa enxuta e à eliminação dos desperdícios, as etapas sucessivas devem transcorrer de forma ininterrupta.
4. **Produção puxada:** significa que, quando o fluxo de valor começa a fluir, o próprio cliente “puxa” a produção; trata-se, portanto, de produzir apenas diante da necessidade do cliente.
5. **Perfeição:** *feedback* e ajustes contínuos para melhorar o produto (transparência) – gerenciar com contas abertas.

Womack e Jones (1998) também relacionam técnicas que diferenciam as empresas enxutas das empresas de produção em massa:

- **Liderança:** existência de um líder responsável e com autonomia para tomada de decisões inerentes ao DP. As funções atribuídas ao coordenador podem ser vislumbradas na Figura 5.

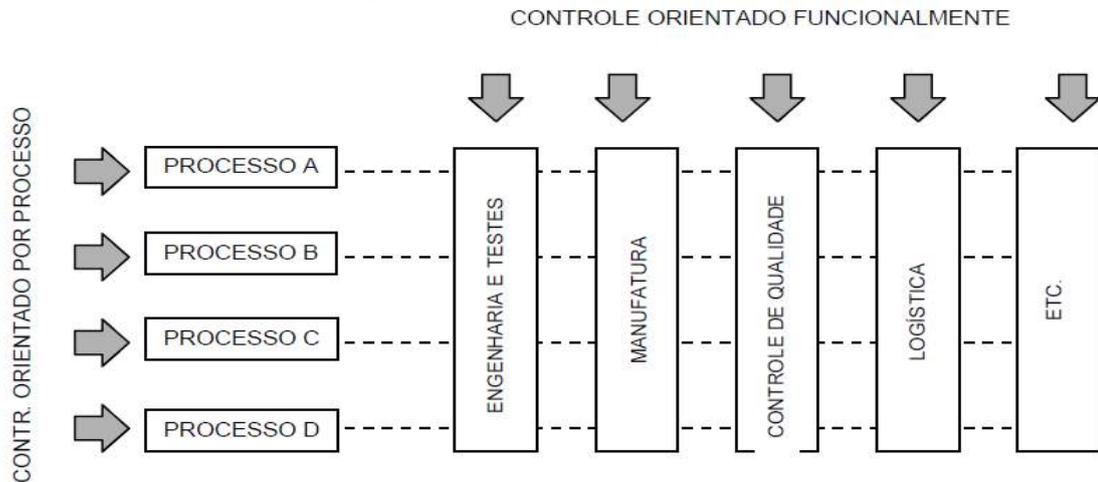
Figura 5 – Função do coordenador



Fonte: Fabricio (2002)

- **Trabalho em equipe:** conceito que aborda as equipes multifuncionais, formadas a partir de membros de áreas funcionais da empresa que são transferidos para o projeto de desenvolvimento e ficam sob o comando do líder, conforme descrito anteriormente (Figura 6). A principal diferença refere-se ao fato de que toda a equipe participa ao longo do processo como um todo.

Figura 6 – Estrutura Matricial Genérica



Fonte: Fabricio (2002)

- **Comunicação:** trata-se de uma comunicação no início do PDP, evitando problemas futuros, da mesma forma como o modelo de liderança e de trabalho em equipe facilitam o fluxo de informações ao longo do processo.
- **Desenvolvimento simultâneo:** estabelece que a compatibilidade entre os sistemas projetados seja resolvida durante sua concepção; dessa forma, muitos pontos críticos são antecipados durante a concepção do produto.

2.4 *Lean Design*

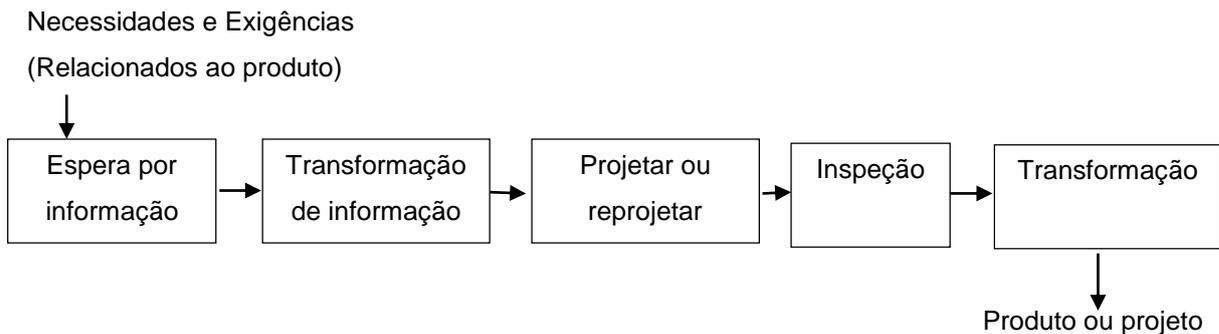
Assim como Womack e Jones (1998) definiram o *Lean Thinking*, o conceito de *Lean Design* também está pautado em fatores que buscam reduzir ou eliminar desperdícios durante o desenvolvimento do projeto que, conseqüentemente, agregam valor ao projeto e/ou produto.

Segundo Alarcón e Mardones (1998), o *Lean Design* vincula-se diretamente às melhorias envolvidas durante o processo de projeto. Para que os processos de aperfeiçoamento dentro da concepção sejam atingidos, é preciso descobrir duas atividades que caracterizam o *Lean Design*:

- Atividades que agregam valor ao projeto
- Atividades que produzem desperdícios

Alarcón e Mardones (1998) ressaltam que os processos que agregam valor são referenciados pela satisfação dos clientes. Já Huovila et al. (1997) sugerem um modelo que apresenta os fluxos de desenvolvimento de projeto, conforme se observa na Figura 7.

Figura 7 – Fluxo do processo de projeto



Fonte: Huovila et al. (1997), tradução livre da autora

De acordo com a figura acima, as atividades que não contribuem para a conversão de valor no processo são: inspeção, movimentação, transformação e espera de informação. Da mesma forma, as ações que produzem desperdícios no projeto são: retrabalho devido aos erros cometidos, omissão, incertezas, entre outros. Portanto, apenas a atividade na qual se “projeta” é capaz de agregar valor ao processo de projeto (ALARCÓN; MARDONES, 1998).

2.4.1 Os 13 Princípios do *Lean Design*

Após o estudo do Sistema Toyota de Produção na indústria, Morgan e Liker (2006) adaptaram o conceito do *Lean Thinking* em 13 princípios setorializados em processo, pessoal e ferramentas para aplicação no *Lean Manufacturing*. Porém, nesta pesquisa, esta autora considerou que todos os conceitos apontados pelos autores citados possibilitam sua aplicação na fase de desenvolvimento de projeto (*design*)/produto, caracterizando o *Lean Design* (Figura 8).

Figura 8 – Sistema enxuto de DP



Fonte: Morgan e Liker (2006)

Morgan e Liker (2006) entendem que cada item tem sua subdivisão e, dentro da vertente de **processos**, possui os seguintes subitens:

1. Identificar valor definido pelo cliente para separar o valor agregado do desperdício.
2. Concentrar esforços no início do processo de DP para explorar as alternativas.
3. Criar um nivelamento de fluxo do processo de DP.
4. Utilizar uma padronização rigorosa para reduzir a variação e criar flexibilidade e resultados previsíveis.

Com esses quatro subitens na fase do processo, percebe-se a necessidade de concentrar os esforços no começo de um DP (*design*), no qual é possível reduzir os custos e eliminar desperdícios. Além disso, é essencial que haja um bom entendimento sobre a necessidade do cliente, permitindo a diminuição das incertezas dentro do DP e a apresentação de um produto mais preciso.

É também nessa etapa que, segundo os autores, existe uma fase preliminar do processo para a resolução dos problemas e dos desentendimentos, abordando suas causas mais profundas, que antecipa muitas questões para os estágios seguintes do PDP.

No que concerne ao subsistema **pessoal**, seis subitens são apresentados:

5. Desenvolver um sistema de engenheiro-chefe para liderar o desenvolvimento do início ao fim.
6. Organizar para balancear a competência funcional com a integração multifuncional.
7. Desenvolver a competência técnica superior em todos os engenheiros.
8. Integrar plenamente os fornecedores ao sistema de DP.
9. Consolidar o aprendizado e a melhoria contínua.
10. Construir uma cultura de suporte à excelência e à melhoria ininterrupta.

Dessa forma, nota-se que os princípios acima descrevem as características e atitudes necessárias requeridas para o responsável no DP. Da mesma maneira, os gerentes de projetos coordenam toda a equipe de projeto e sua influência pessoal, conhecimento técnico e autoridade são utilizados para a tomada de decisões relacionadas ao produto.

A estrutura organizacional da empresa Toyota é matricial: existe uma divisão de departamentos funcionais com seus respectivos especialistas e uma equipe exclusiva para projetos de desenvolvimento de produtos. Porém, é um grande desafio conseguir equilibrar essas duas forças – organização funcional e por projeto – para que nenhuma parte seja dominante. Segundo Franco (2016), o equilíbrio na estrutura organizacional e a figura do engenheiro chefe são peças-chave para a estruturação do *Lean*.

De acordo com Morgan e Liker (2006), investir significativamente em recrutamento e desenvolvimento é essencial para uma empresa que pretende implantar o processo *Lean* no desenvolvimento de produtos. Para que a produção seja eficiente, a mesma equipe de projeto deve acompanhar o desenvolvimento de todo o projeto; portanto, é recomendado que não haja alteração dos agentes participantes durante o processo, evitando, assim, perdas de informação e de tempo.

Outra característica importante é a relação entre a empresa enxuta e seus fornecedores; estes devem seguir os mesmos padrões ou apresentar semelhanças com a organização, já que são considerados parceiros. Para Franco (2016), no âmbito da Engenharia Simultânea, a ser abordada no subitem 2.4.3.1, os fornecedores

também possuem grande importância durante as fases de concepção do produto e os benefícios podem ser percebidos na etapa de produção.

Portanto, as empresas que aplicam os conceitos *Lean* têm responsabilidades sobre o produto final; logo, as exigências cobradas dos fornecedores devem seguir o mesmo nível estabelecido pela empresa para que o produto final seja entregue como desejado e/ou solicitado (FRANCO, 2016).

Já no subsistema de **ferramentas e tecnologias**, os autores Morgan e Liker (2006) descrevem os seguintes princípios:

11. Adaptar a tecnologia ao pessoal e ao processo.
12. Alinhar e organizar mediante a comunicação simples e visual.
13. Utilizar ferramentas poderosas para a padronização e o aprendizado organizacional.

As tecnologias empregadas no STP agilizam e otimizam o processo de DP. Dessa forma, toda a tecnologia aplicada na produção é customizada de acordo com as necessidades da empresa e, conseqüentemente, os engenheiros possuem acesso direto aos bancos de dados, possibilitando que os ajustes necessários sejam executados com maior rapidez. Contudo, é importante salientar que a indicação da técnica mais adequada para o aperfeiçoamento da produção é feita pelo processo do DP (FRANCO, 2016).

A Toyota adota *softwares* parametrizados, de modo que, quando uma peça sofre alterações ou modificações, tais mudanças são sinalizadas e adquirem um código para serem verificadas em seguida, evitando, conseqüentemente, futuros erros e incompatibilidades de projeto (MORGAN; LIKER, 2006).

No processo de montagem, a tecnologia também é utilizada com o intuito de antecipar e verificar as possíveis soluções de forma virtual. De acordo com Morgan e Liker (2006), a montagem digital está presente desde a fase *kentou*¹, que contribui para a diminuição da construção de protótipos físicos e para a antecipação e a resolução de questões complexas em fases de estudo do produto.

¹ Fase de estudo, segundo o STP.

A elaboração dos 13 princípios do *Lean Design* pelos autores Morgan e Liker (2006) possibilitou um aprofundamento do contexto histórico, da complexidade e do poder do sistema *Lean Manufacturing* dentro da produção. Entretanto, para que as empresas obtenham os benefícios integrais do *Lean Manufacturing*, a combinação de todos os princípios em harmonia tem um caráter decisivo para sua perfeita implantação (FRANCO, 2016).

Um ponto importante observado nas pesquisas é o valor do PDP, que, de alguma forma, é adaptado para cada necessidade e é o “[...] ponto chave para a conceptualização de um PDP enxuto” (FRANCO, 2016, p. 27).

Segundo Franco (2016), conclui-se que um método de aplicação do *Lean* deve considerar:

- As etapas do processo de desenvolvimento de produto, tendo em vista todo o seu ciclo de vida.
- Os princípios e conceitos do *Lean Thinking*.
- Os princípios enxutos específicos do ambiente de desenvolvimento de produtos.
- As ferramentas e tecnologias necessárias para a completa aplicação dos conceitos.

Os próximos subitens discorrem sobre a questão do *Lean Design* dentro das indústrias e da área da construção civil.

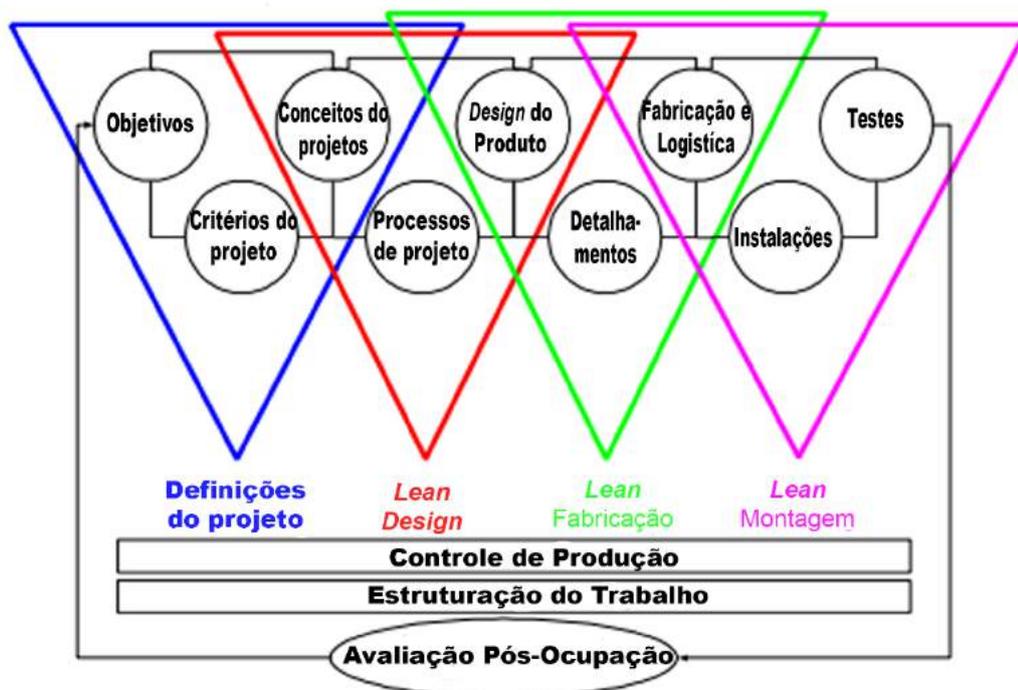
2.4.2 *Lean Design* na Construção Civil

De acordo com Ballard e Zabelle (2000), o *Lean Design* tem seu ponto de partida no momento em que as definições do projeto (requisitos, critérios e conceitos) estiverem alinhados com o produto. Dessa forma, há três pontos importantes que estão interligados:

- Requisitos do cliente e das partes interessadas
- Critérios de projeto do produto e dos processos
- Conceituação do projeto

A Figura 9, apresentada a seguir, ilustra o sistema *Lean* de desenvolvimento de projetos, segundo Ballard e Zabelle (2000).

Figura 9 – Sistema *Lean* de desenvolvimento de projetos



Fonte: Ballard e Zabelle (2000), tradução livre da autora

Na comunidade do *Lean Construction*, produção é definida como a integração dos processos do *design* e da construção, que são a base para o *Lean Design*; no entanto, é fundamental entender a diferença entre *design* e construção (BALLARD, 2000).

Ballard e Zabelle (2000) descrevem alguns pontos de diferenciação entre tais conceitos:

- O *design* produz a receita e a construção, a refeição. Trata-se de uma antiga distinção entre planejar e fazer.
- *Design* e construção também diferem na qualidade do conceito apropriada a cada um.
- A variedade de ideias não é desejável para a construção, porém, o mesmo não se aplica para o *design*, já que são elas as responsáveis por agregar valor ao produto.

- Interações efetuadas somente na fase da construção significam retrabalho, que, dentro da concepção do *Lean Thinking*, é um tipo de desperdício a ser evitado.

De acordo com Freire e Alarcón (2002), para implementar os conceitos do *Lean Design* antes de início do desenvolvimento do projeto, os participantes precisam entender sua filosofia, caso contrário, percebe-se uma tendência de retrocesso e retomada de hábitos mais tradicionais.

Fialho, Campos e Neto (2015) relatam que, ao adotar os conceitos de *Lean Design* no desenvolvimento de projetos, promove-se um modelo de organização e gerenciamento, através do qual os projetos são elaborados com mais eficiência e qualidade.

Segundo Ballard e Zabelle (2000), as ferramentas e técnicas descritas abaixo estão disponíveis para gerenciar e produzir o desenvolvimento do *design* dentro do Sistema *Lean* de desenvolvimento de projetos:

- Organização do projeto com o auxílio de equipes multidisciplinares
- Adoção de uma estratégia baseada na simultaneidade
- Estrutura do desenvolvimento do projeto alinhada à filosofia *Lean*
- Redução de interações negativas
- Uso do sistema *Last Planner*², abordado no subitem 2.6.1, para o controle da produção
- Adoção de tecnologias que facilitem a aplicação do *Lean Design*

Algumas estratégias para reduzir ou minimizar as interações negativas em um processo de desenvolvimento de projeto são descritas por Ballard e Zabelle (2000):

- Reestruturar os processos de *design*:

² *Last Planner*: sistema de planejamento da produção baseado nos princípios do *Lean*. Segundo Ballard (2000), as principais características envolvidas são a aplicação de metas, o planejamento puxado e o planejamento semanal.

- Utilizar o *Design Structure Matrix* (DSM)³ para visualização das interações entre as fases existentes
- Reduzir o tamanho dos lotes, antecipando etapas e utilizando a simultaneidade no processo de projeto
- Reorganizar o processo do *design*:
 - Por meio de equipes multifuncionais
 - Através de reuniões que contem com a participação de todos os agentes envolvidos
 - Compartilhar possíveis ideias de soluções
 - Compartilhar informações incompletas
- Alterar a forma através da qual o processo de *design* está sendo gerenciado:
 - Prosseguir com metas de curto tempo
 - Utilizar o sistema *Last Planner*
 - Projeto excessivo (redundância de *design*)

Um panorama geral do *Lean Design* e todas as suas etapas pode ser observado na Figura 10.

³ Matriz que representa as diversas atividades dentro do desenvolvimento de projeto e que demonstra a relação e a dependência entre as tarefas, como forma de encontrar o ponto crítico de um projeto.

Figura 10 – Etapas desenvolvidas dentro do *Lean Design*

Fonte: Ballard (2000), tradução livre da autora

Para Ballard (2006), o ciclo para o desenvolvimento de um projeto baseia-se no fluxo indicado na figura acima, em que o ponto de partida prende-se às necessidades do cliente e à transformação dessas necessidades em valores para a área da engenharia, ou seja, a concepção do projeto (Figura 11).

Figura 11 – Definição do processo de projeto



Fonte: Ballard (2006), tradução livre da autora

O gerenciamento de projeto é uma das áreas mais negligenciadas na construção civil, pois o planejamento e o controle são substituídos pelo caos e por imprevistos no *design*. Como consequência, há interferência no resultado do projeto final, que apresenta baixa qualidade para as demais fases do projeto (KOSKELA; BALLARD; TANHUANPÄÄ, 1997).

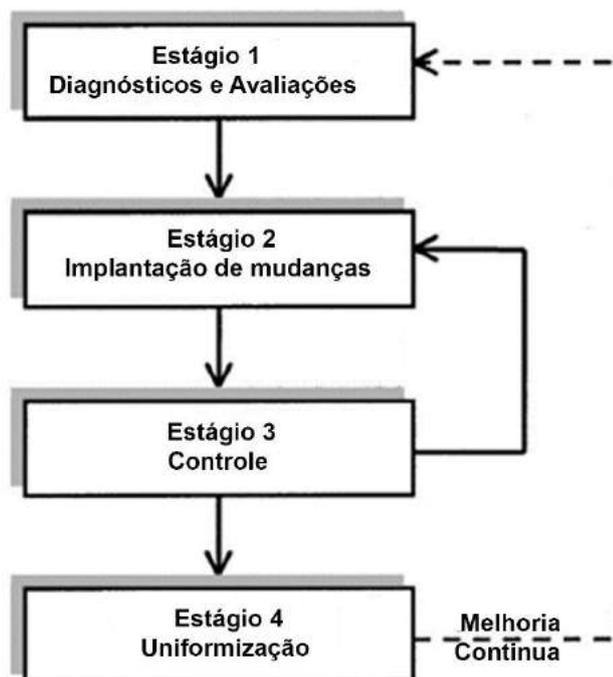
Essa preocupação com a fase de desenvolvimento do projeto possui grande importância devido aos impactos gerados nas fases subsequentes. Os autores mencionados acrescentam que as três hipóteses que contribuem para a qualidade do gerenciamento do desenvolvimento de projeto são:

- a) Existência de uma sequência ideal para as tarefas de projeto.
- b) Incertezas externas e internas tendem a levar o processo de projeto para longe da sequência ideal.
- c) Fora da sequência ideal, o processo de projeto ocorre com baixa produtividade, prolongada duração e diminuição de valor na solução do projeto.

Dessa forma, o processo de desenvolvimento de projeto passa a ter dois campos de visão: transformação e fluxo. Observa-se que, através desses campos, há possibilidade de agregar valor ao projeto e identificar os desperdícios e eventuais problemas (FREIRE; ALARCÓN, 2002).

Para Freire e Alarcón (2002), uma forma de melhorar a metodologia de desenvolvimento de projetos baseia-se nos conceitos e princípios do *Lean Design*, representada em quatro estágios: diagnóstico e avaliação, implantação de mudanças, controle e padronização, conforme se observa na Figura 12.

Figura 12 – Metodologia de melhorias para o desenvolvimento de projeto



Fonte: Freire e Alarcón (2002), tradução livre da autora

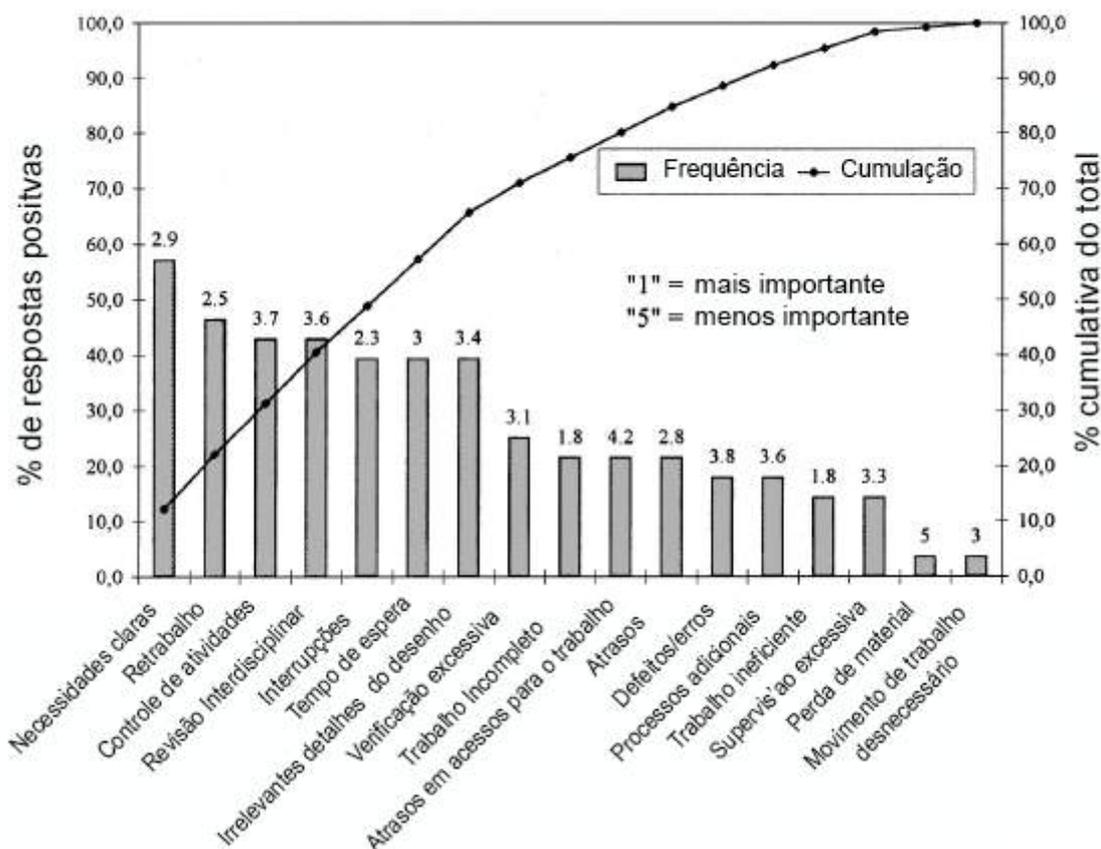
O estágio de diagnóstico e avaliação é caracterizado por Freire e Alarcón (2002) como uma investigação e avaliação do funcionamento do processo e sua performance de acordo com os conceitos de fluxo e valor. Nesse mesmo período, são identificados os desperdícios do projeto e suas respectivas causas (Figuras 13 e 14). Na fase seguinte, implantação de mudanças, são considerados os resultados apresentados pelo estágio anterior com o uso das ferramentas para redução de desperdícios e dos problemas.

Figura 13 – Metodologia para identificar os desperdícios e problemas no projeto



Fonte: Freire e Alarcón (2002), tradução livre da autora

Figura 14 – Desperdícios encontrados durante o processo de projeto

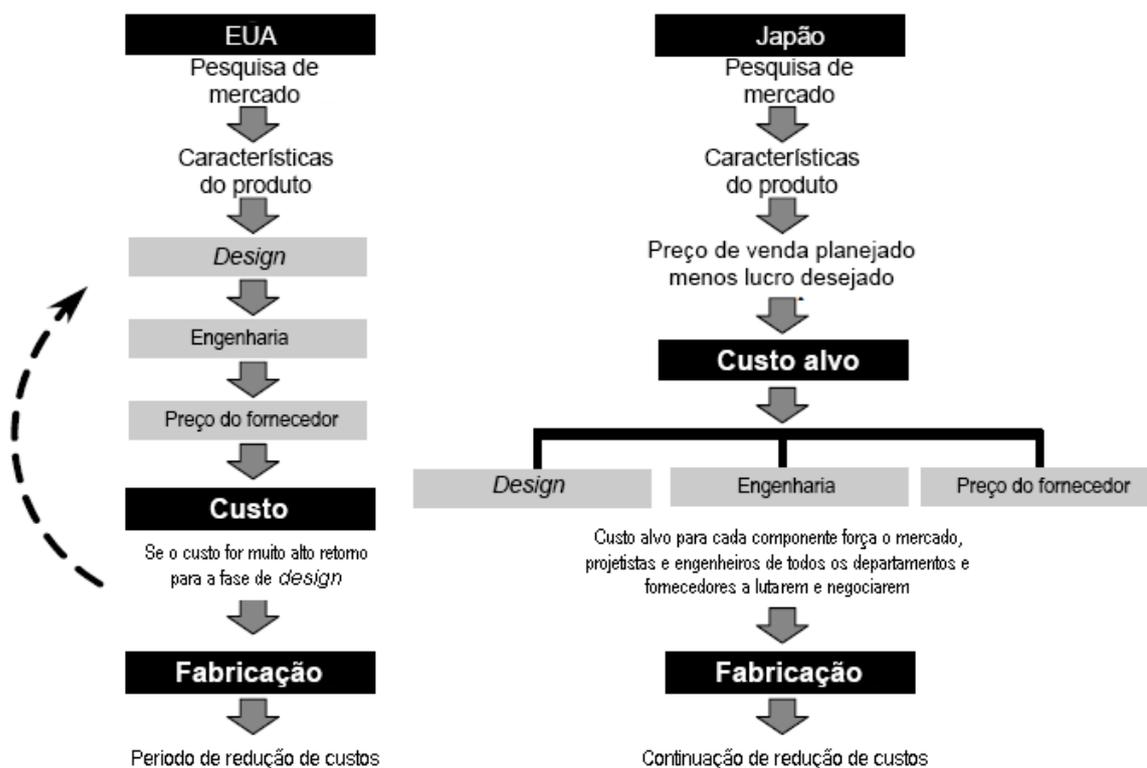


Fonte: Freire e Alarcón (2002), tradução livre da autora

Muitas pesquisas consideram o método *Target Cost* uma forma de melhoria no desenvolvimento de projeto, na qual são mensurados valores e restrições do projeto. Segundo Ballard (2006), esse conceito tem como abordagem a interação de todos os agentes do projeto com o plano de negócios dentro do setor da indústria, nas diferentes fases do projeto. Dessa forma, cria-se um ciclo de validação para a melhoria no processo de desenvolvimento de projeto por meio do custo alvo do projeto.

A Figura 15 apresenta um comparativo entre o custo tradicional nos Estados Unidos e o *Target Cost*.

Figura 15 – Comparação entre o custo tradicional (EUA) e o *Target Cost*



Fonte: Worthy (1991 apud ORIHUELA; PACHECO, 2015), tradução livre da autora

No setor da construção civil, a adaptação do *Target Cost* é denominada *Target Value Design* e, para sua aplicação, de acordo com Ballard (2000), existem algumas recomendações atreladas à:

- Realização de estudos de viabilidade para avaliar a possibilidade de aproximar o valor disponível para o projeto e o valor de mercado, sempre com a participação de projetistas, construtora e fornecedores, além do cliente – participação da equipe do projeto.
- Entendimento do plano de negócios e do conceito de valor por todos os membros da equipe do projeto; os impactos com custo, tempo e qualidade das alternativas de projetos são discutidos durante o processo, de modo que as metas jamais sejam desrespeitadas.
- Ao longo do processo e a cada atualização de projeto, novas estimativas de custos são elaboradas para que esse ponto seja sempre verificado e considerado nas discussões projetuais.
- Definição de metas de custo por disciplina de projeto.

- Utilização do sistema *Last Planner* para planejamento do processo.
- Realização frequente de reuniões de projetos, com a recomendação de que os membros da equipe estejam, preferencialmente, alocados de forma conjunta, a fim de facilitar a integração.

Franco (2016) ressalta que o termo *Target Value Design*, além de abordar o forte conceito de valor relatado em outras pesquisas, também discorre sobre a importância do custo do empreendimento no processo de projeto.

2.4.3 Metodologias e Ferramentas Correlatas ao *Lean Design*

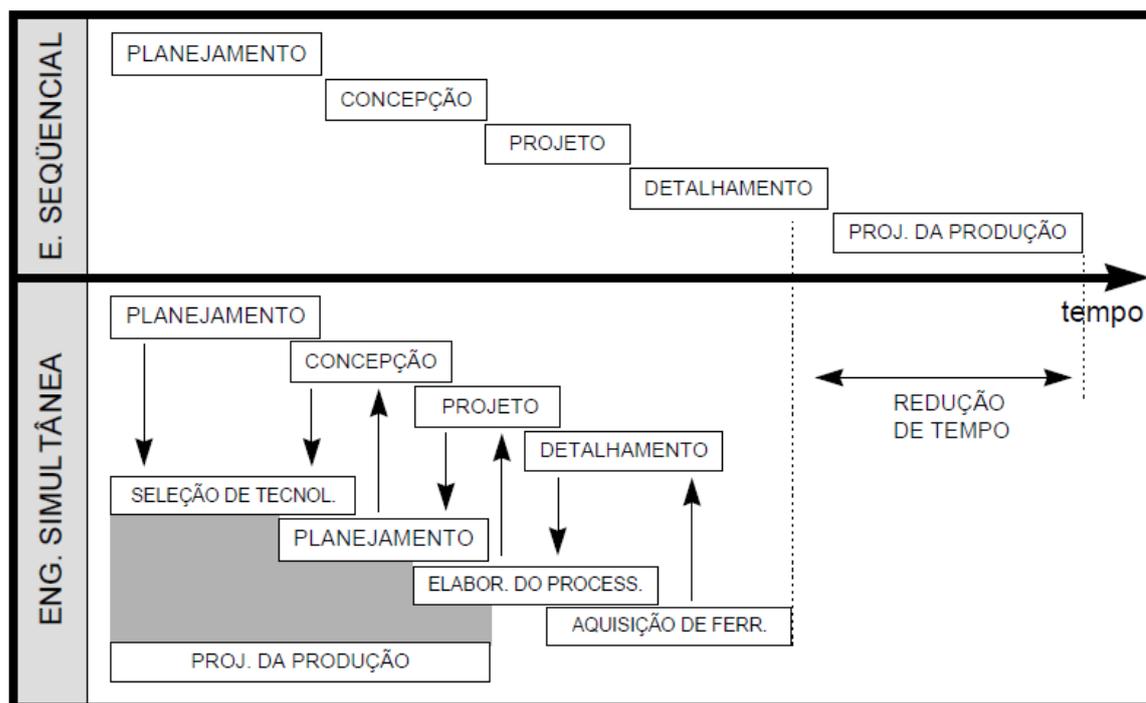
Os desdobramentos deste subitem apresentam a análise de duas metodologias com aplicações paralelas – indústria e construção civil –, que têm sido incorporadas por diversos autores aos princípios e conceitos do *Lean Design*, em razão do alinhamento de seus propósitos.

2.4.3.1 Engenharia Simultânea (ES)

De acordo com Fabricio (2002), a Engenharia Simultânea (ES) teve sua origem nas indústrias automobilísticas e eletroeletrônicas norte-americanas que tinham a intenção de aumentar sua produção por duas razões: seus concorrentes apresentavam grande crescimento da exportação de produtos; eliminar elementos desnecessários à produção.

As dinâmicas empregadas na Engenharia Sequencial e na Engenharia Simultânea podem ser observadas na Figura 16.

Figura 16 – Engenharia Sequencial x Engenharia Simultânea



Fonte: Fabricio (2002), adaptado de Weck et al. (1991 apud TAKAHASHI, 1996)

Fabricio (2002) relata que muitos autores associam a Engenharia Simultânea a um processo de interação de todas as áreas durante o desenvolvimento do produto em todo o seu ciclo de vida, com a ideia de antecipar futuros problemas e melhorar o projeto. Além disso, as inúmeras definições e enfoques para a ES estão relacionadas aos diferentes interesses e práticas de cada autor sobre o assunto e de cada organização que a implementa.

A Engenharia Simultânea consiste em conceber de forma sistemática, integrada e simultânea, os produtos e os processos que lhes são ligados. Este método conduz os desenvolvedores a considerar todos os elementos do ciclo de vida do projeto, da concepção à disposição aos usuários, e compreende a qualidade, os custos, a programação e a satisfação das necessidades e requerimentos dos usuários. (JOUINI; MIDLER, 1996 apud FABRICIO, 2002)

Ainda citando Fabricio (2002), um ponto de grande relevância abordado pela ES envolve a valorização do projeto e a importância das primeiras fases de concepção do produto como características fundamentais para alcançar a qualidade e a eficiência do processo produtivo. Assim, quanto maior for a integração entre as equipes no momento de concepção do produto, maior será a liberdade para propor soluções, que serão, em contrapartida, menos onerosas.

Outra questão discutida refere-se ao fato de as atividades e as disciplinas do projeto serem realizadas de maneira simultânea, reduzindo drasticamente o tempo de desenvolvimento do projeto e aumentando a integração entre as suas diferentes disciplinas, discutindo todos os requisitos do projeto de forma concomitante. Além disso, empreende-se uma busca incessante pela *manufaturabilidade*, termo empregado para designar a simplificação do produto e a eliminação de etapas e interfaces de processos (FABRICIO, 2002).

De acordo com Huovila et al. (1997), a ES tem a intenção de introduzir no processo de projetos os seguintes elementos:

- Satisfação do cliente
- Aproximação do grupo de projeto, através da comunicação
- Processo simultâneo para o desenvolvimento do projeto
- Relações estratégicas com fornecedores, baseado nos conceitos do *Just-in-Time* (JIT)
- Melhorias contínuas

2.4.3.2 Processo Construtivo – Construtibilidade

Para Melhado (1994), a filosofia da construtibilidade teve origem durante a década de oitenta, com duas terminologias diferentes, porém, com o mesmo conceito: *constructability* nos Estados Unidos e *buildability* no Reino Unido.

Segundo o *Construction Industry Institute* (CII), a construtibilidade é definida como a integração do conhecimento e da experiência na construção, aplicados ao planejamento, ao projeto e à contratação, com o intuito de alcançar os objetivos globais do empreendimento. Melhado (1994) pontua que a participação dos agentes ligados à construção durante todo o ciclo do desenvolvimento do projeto é fundamental dentro da filosofia da construtibilidade.

Ainda citando Melhado (1994), o termo da construtibilidade permite a integração de conhecimento da construção em todo o ciclo do projeto, fator este impossível de ser reunido em um único profissional. Isso permite que o conhecimento e as experiências vivenciadas pelos profissionais da construção sejam aplicados

durante a fase de concepção de projeto, diminuindo as deficiências dos agentes de planejamento e seu tempo de desenvolvimento.

O *Construction Industry Institute* (CII) lista alguns fatores importantes para a aplicação e a implantação de programas de construtibilidade em empresas e indústrias ou na construção civil:

- Encorajar o trabalho em equipe, a criatividade e os enfoques inovadores.
- Enfatizar a integração total no empreendimento, não a otimização de uma das partes.
- Fazer uma avaliação dos resultados.

2.5 *Lean Manufacturing*

O ponto de partida para a implantação dos conceitos e princípios do *Lean Thinking*, como já abordado, teve início na indústria automobilística. Morgan e Liker (2008), após um profundo estudo do Sistema Toyota de Produção, anunciaram 13 princípios, descritos no subitem 2.4.1; embora válidos para todas as dimensões do *Lean Thinking*, esta autora optou por contextualizá-los na temática do *Lean Design*.

De acordo com Ohno (1997), o Sistema Toyota de Produção possui dois pilares de sustentação:

- *Just-in-Time*
- Automação – *Jidoka*

O Sistema Toyota de Produção também possui como princípio, tanto na prática quanto na evolução, a abordagem da técnica dos “5 por quês”⁴ (base científica), que ajuda a descobrir a raiz do problema e corrigi-la, já que esta, geralmente, se esconde atrás dos sintomas mais óbvios. A partir dessas perguntas, desenvolveu-se a automação com um toque humano dentro da indústria automobilística (automação); da mesma forma, desenvolveram-se métodos de controle de produção *Just-in-Time*,

⁴ Segundo Shingo (1996), trata-se de um método criado por Taiichi Ohno que consiste na repetição da pergunta “Por quê?” diante da questão a ser aprofundada na organização, o que torna mais fácil chegar à raiz do problema.

como por exemplo, o uso da ferramenta *Kanban*, conceitos estes que serão abordados mais adiante.

Segundo Shingo (1996), a automação tem como princípio reduzir os custos de mão de obra, sendo esta uma característica básica apresentada dentro do Sistema Toyota de Produção.

A ideia inicial da implantação da automação dentro da fábrica era diminuir a dependência da máquina em relação ao homem, ao contrário dos princípios propostos por Taylor (um homem/um posto/uma tarefa), pois além de aumentar a produtividade na indústria, também reduziu esforços humanos desnecessários devido à supervisão simultânea de várias máquinas. Esse mecanismo foi iniciado dentro da fábrica de Toyoda Sakicki, inventora de uma máquina de tear que interrompia sua produção no exato momento em que uma linha se rompia (SHINGO, 1996).

Shingo (1996) relata que, com a combinação da mecanização nas operações auxiliares (automação da fixação e remoção de peças nas máquinas, operação de interruptores, etc.) e os avanços na produtividade humana, as máquinas começaram a ser cada vez mais independentes da intervenção humana, aumentando expressivamente a eficiência do sistema de produção.

De acordo com Ohno (1997), a produção *Lean* dentro do STP está diretamente ligada ao sistema de controle visual. Dessa forma, dentro da empresa Toyota, tudo precisa estar claramente visível aos operários para que a produção seja eficiente. Além da utilização do método *Kanban*, há também painéis luminosos, denominados *andon*, visíveis para todos os operários da empresa, que sinalizam os locais e a natureza dos problemas ocorridos na linha de produção e a necessidade de uma ação imediata para que não prejudiquem a produção. A combinação de trabalho dos materiais, operários e máquinas são essenciais para produzir com eficiência.

Ademais, para aumentar a eficiência da produção, esta precisa estar associada à redução de custos; por sua vez, para essa diminuição, deve-se produzir apenas o essencial e utilizar o mínimo possível de mão de obra, a fim de que não haja perda de produtividade e qualidade.

A folha de trabalho padrão desenvolvida na Toyota está pautada em princípios preestabelecidos e possui uma função no sistema de controle visual da empresa. Para que isso ocorra de forma harmoniosa, esse documento possui três elementos

essenciais para o procedimento de trabalho padrão: tempo de ciclo (tempo alocado para fazer uma peça ou unidade), sequência do trabalho e estoque padrão.

2.5.1 *Kaizen*

Imai (1986), com a publicação de seu livro intitulado “*Kaizen: The Key to Japan’s Competitive Success*”, foi responsável por difundir o termo *kaizen*, que, na tradução da língua japonesa, significa “melhoria contínua”. No entanto, esse termo já era bem conhecido dentro do Sistema de Toyota de Produção, isto é, antes da publicação do livro de Masaaki Imai.

Para Shingo (1996), a partir de uma sequência de perguntas (5 por quês) e certas iniciativas que procuram identificar, analisar e solucionar o problema encontrado, criou-se um modelo científico chamado Mecanismo do Pensamento Científico (MPC), que possibilita a implantação de melhorias no desenvolvimento do processo de produção.

Diversos autores, dentre eles Alukal e Manos (2006) e Martin e Osterling (2007), relatam que a utilização do *kaizen* na linha de produção de uma indústria representa um mecanismo que auxilia na melhoria contínua e no aprendizado do desenvolvimento do processo de produto.

O *kaizen* caracteriza-se pela busca incessante do aprimoramento, mesmo quando as metas iniciais já foram atingidas, e possui como elemento inerente a humildade, pois uma vez que se acredita ser o melhor, ser imbatível, o espírito *kaizen* está morto (OHNO, 1997).

2.5.2 *Just-in-Time* (JIT)

Segundo Ohno (1997), *just-in-time* significa que, em um processo de fluxo contínuo, as peças necessárias à composição de um produto alcançam a linha de montagem no momento em que são exigidas e somente na quantidade suficiente.

Para Koskela (1992), a filosofia da nova produção iniciou-se no setor industrial desenvolvido inicialmente por Ohno e Shingo dentro do setor automobilístico, ou seja, na Toyota, com a ideia inicial de reduzir ou eliminar estoques. Com isso, outras técnicas foram utilizadas para alcançar esse ideal: redução do dimensionamento do

lote, reconfiguração de *layout*, cooperação dos fornecedores e redução do tempo de configuração. Inicialmente, foi implantado o método de controle de produção baseado na demanda e não em previsões do mercado. Uma empresa que estabelece esse fluxo integralmente pode chegar ao estoque zero, entretanto, é difícil aplicar o *just-in-time* ao plano de produção de todos os processos de forma ordenada.

A base principal desse conceito foi a implantação do *Just-in-Time* (JIT). Shingo (1996), por sua vez, tornou evidentes os seguintes desperdícios dentro da indústria:

- Excesso de produção
- Esperas
- Transporte
- Utilização de muitas máquinas
- Estoques
- Produção de produtos
- Peças defeituosas

Dessa forma, a eliminação de desperdícios através de melhorias contínuas nas operações, equipamentos e processos é a base para o JIT (KOSKELA, 1992).

Para que o *just-in-time* seja controlado dentro da linha de produção de uma indústria e para que não haja superprodução, recomenda-se a utilização do *Kanban*. Trata-se de um conceito simples: normalmente envolve um conjunto de cartões abrigados em um envelope plástico que contém todas as informações para a produção. Um exemplo desse conceito pode ser visualizado na Figura 17.

Figura 17 – Exemplo de *Kanban*

| | | | |
|---|---|--|---|
| Hora de Entrega 10:30  Fundação Ohashi Prateleira nº 1 – Embaixo | Área de Estocagem <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">A</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; text-align: center;">1 - 1</div> </div> | | Fábrica Central da Toyota Motors <hr/> Montagem nº 2 <hr/> <div style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;">50</div> |
| | Número do Item 53018-60011 | Identificação | |
| | Nome do Item Linha de pressão do radiador | Usado em FJ Carro tipo (I) | |
| | 21 | Tipo de caixa Especial Capacidade da caixa 30 | |
| Kanban de pedido de peças | | | |

Fonte: Ohno (1997)

De acordo com Ohno (1997), o *Kanban* é dividido em três categorias: informação de coleta, informação de transferência e informação de produção. Como resultado, não há necessidade de grandes áreas para depósitos e a produção de inúmeros controles em papel também se torna desnecessária. Contudo, se utilizado de forma incorreta, pode trazer vários problemas para a produção. Para a utilização dessa metodologia, deve-se entender com clareza seu propósito, seu papel e só então estabelecer regras para seu uso.

O objetivo de eliminar desperdícios também é enfatizado pelo *Kanban*. Sua utilização revela imediatamente o que é desperdício, permitindo, além de um estudo criativo, propostas de melhorias. Na planta de produção, o *Kanban* é uma força poderosa para reduzir mão de obra e estoques, eliminar produtos defeituosos e impedir a recorrência de panes; suas funções e regras seguem demonstradas na Figura 18.

Figura 18 – Funções do *Kanban* e suas regras

| Funções do <i>Kanban</i> | Regras para Utilização |
|--|---|
| Fornecer informação sobre apanhar ou transportar | O processo subsequente apanha o número de itens indicados pelo <i>Kanban</i> no processo precedente |
| Fornecer informação sobre a produção | O processo inicial produz itens na quantidade e sequência indicadas pelo <i>Kanban</i> |
| Impedir a superprodução e o transporte excessivo | Nenhum item é produzido ou transportado sem um <i>Kanban</i> |
| Servir como uma ordem de fabricação afixada às mercadorias | Serve para afixar um <i>Kanban</i> às mercadorias |
| Impedir produtos defeituosos pela identificação do processo que o produz | Produtos defeituosos não são enviados para o processo seguinte; o resultado conta com mercadorias 100% livres de defeitos |
| Revelar problemas existentes e manter o controle de estoques | Reduzir o número de <i>Kanbans</i> aumenta sua sensibilidade aos problemas |

Fonte: Ohno (1997)

Além disso, o *Kanban* é uma ferramenta que acompanha os produtos na sua linha de produção e também é o instrumento de comunicação essencial para a produção *just-in-time*; para que o sistema seja efetivo, a estabilização e a sincronização da produção são condições indispensáveis. Assim, o *Kanban* foi introduzido para gerenciar os problemas de controle e estocagem de materiais, questão esta extremamente importante para a produção de automóveis.

2.6 *Lean Construction*

Desde meados da década de noventa, Koskela et al. (2002) definem *Lean Construction* como um novo conceito, tanto na questão da gestão da construção quanto na prática da construção.

Segundo os autores, *Lean Construction* conta com duas interpretações distintas: a primeira sustenta a aplicação dos métodos convencionais do *Lean* na construção; a segunda é definida como inspiração teórica para a formulação de uma nova metodologia baseada em teorias diretamente para a construção. *Lean Construction*, portanto, não é apenas uma abordagem ao método de construção, mas

um desafio no entendimento e práticas da construção convencional. Conseqüentemente, é de grande interesse dos agentes da construção a participação e a avaliação desse novo método de pensamento e práticas (KOSKELA et al., 2002).

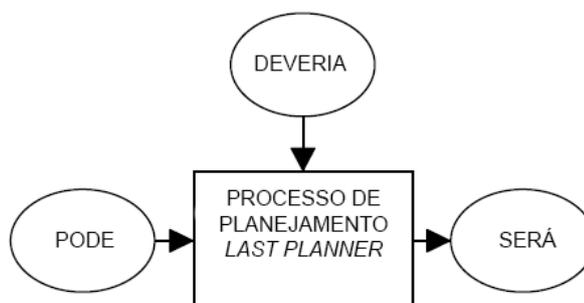
O futuro do desenvolvimento do método *Lean Construction* possui duas linhas de direção: amplitude e profundidade. Koskela et al. (2002) entendem que a questão do aumento da amplitude no processo da construção caracteriza-se pela integração do gerenciamento de diversos departamentos, como fornecedores, *design*, custo e o projeto como um todo. Dessa forma, esse método acompanha todos os momentos do processo do projeto e os problemas da construção são solucionados com base na nova filosofia de desenvolvimento do projeto durante a fase de construção.

Por outro lado, os autores descrevem que esse processo precisa estar em constante movimento, proporcionando um aprofundamento da metodologia, que está fundamentada nos princípios e conceitos do *Lean Manufacturing* adaptados ao setor da construção (KOSKELA et al., 2002).

2.6.1 Sistema *Last Planner*

De acordo com Ballard (2000), *Last Planner System* pode ser definido como a filosofia, as regras e os processos que podem ser implementados na prática. Esse sistema pode ser caracterizado por uma pessoa ou um grupo responsável pelo controle da unidade de produção que, com o intuito de alcançar a melhor eficácia na produção, elabora o planejamento de execução na sua melhor excelência e no ritmo esperado pelo responsável (Figura 19).

Figura 19 – Estrutura do processo do Sistema *Last Planner*



Fonte: Ballard (2000)

Ballard (2000) descreve que o sistema de planejamento na produção é resultado de um produto coletivo que envolve toda a organização. O responsável pela elaboração do planejamento de produção tem como papel avaliar e controlar o que será executado dentro das metas estabelecidas e, mesmo com os obstáculos ou restrições presentes na execução, o resultado final será avaliado para que não ocorram diferenças com o que deveria ser executado.

Ainda segundo Ballard (2000), a divergência entre o que será feito e o que deveria ser feito ocorre devido à irregularidade das entregas de recursos ou informações, além de serviços pré-requisitados não finalizados, resultando na desistência do planejamento. Como plano de ação para esses eventos, o autor salienta que é necessário mudar o foco no controle das atividades dos funcionários para o fluxo de trabalho que, conseqüentemente, une as atividades.

O conceito do *Last Planner System* baseia-se na integração de cinco elementos que, quando implementados sistematicamente, trazem muitas vantagens para a prática de planejamento de construção:

- (1) Plano diretor: tem a ideia de obter um plano geral e identificar o trabalho do projeto como um todo, desenvolvendo as atividades do processo com sua duração e sequência correspondentes.
- (2) Planejamento das fases: divisão do plano diretor em diversas fases com o objetivo de devolver mais detalhes em cada etapa do projeto e providenciar metas para a equipe. Essa fase está ligada às fases (1) e (3).
- (3) Olhar além do planejamento: antecipa as futuras problemáticas para o tempo presente, com o objetivo de resolvê-las.
- (4) Planejamento semanal: são reuniões feitas para checar a produção e o *status* de cada produto, clarificando os problemas e favorecendo sua discussão.
- (5) Porcentagem das tarefas concluídas e as razões daquelas não concluídas: tem a intenção de melhorar os próximos planejamentos do projeto com base nos problemas apresentados durante o seu desenvolvimento.

2.6.2 Corrente Crítica na Construção

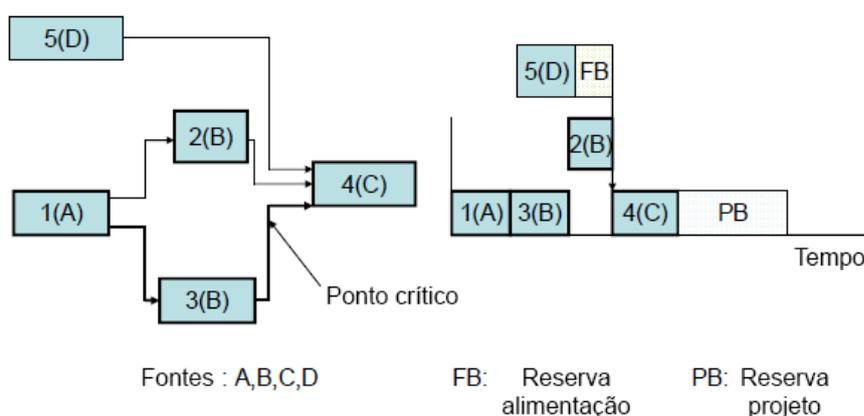
Sacks et al. (2010) definem a corrente crítica como o caminho crítico em função das restrições de recursos. Com a adoção do gerenciamento de projetos baseado nessa metodologia, os prazos de entrega são mais previsíveis e curtos, através de uma abordagem mais racional do gerenciamento das incertezas.

A corrente crítica tem sua aplicação restrita ao gerenciamento de fluxo de projeto e seus ciclos e, diferentemente do Sistema *Last Planner*, não soluciona problemas encontrados em cada ciclo do projeto e não reduz a variabilidade dos *buffers* (margem de segurança)⁵. Para Sacks et al. (2010), a corrente crítica opera de forma a reduzir o tempo de duração do projeto por meio da otimização das tarefas no contexto de planejamento, execução e melhorias contínuas.

Primeiramente, essa metodologia ordena o tempo do projeto de acordo com os pontos críticos observados no ciclo do projeto. Com isso, é possível realocar as tarefas ou adicionar mais tempo para solucionar cada fase do projeto, permanecendo, no entanto, com o mesmo tempo de desenvolvimento apresentado anteriormente (SACKS et al., 2010).

A seguir, a Figura 20 ilustra um diagrama do cronograma do projeto com ênfase no ponto crítico verificado.

Figura 20 – Diagrama do cronograma do projeto com ênfase no ponto crítico



Fonte: Stratton (2009 apud SACKS et al., 2010)

⁵ Segundo Goldratt (1997), o termo *buffers* é designado como sendo “pulmões”.

2.7 Building Information Modeling (BIM)

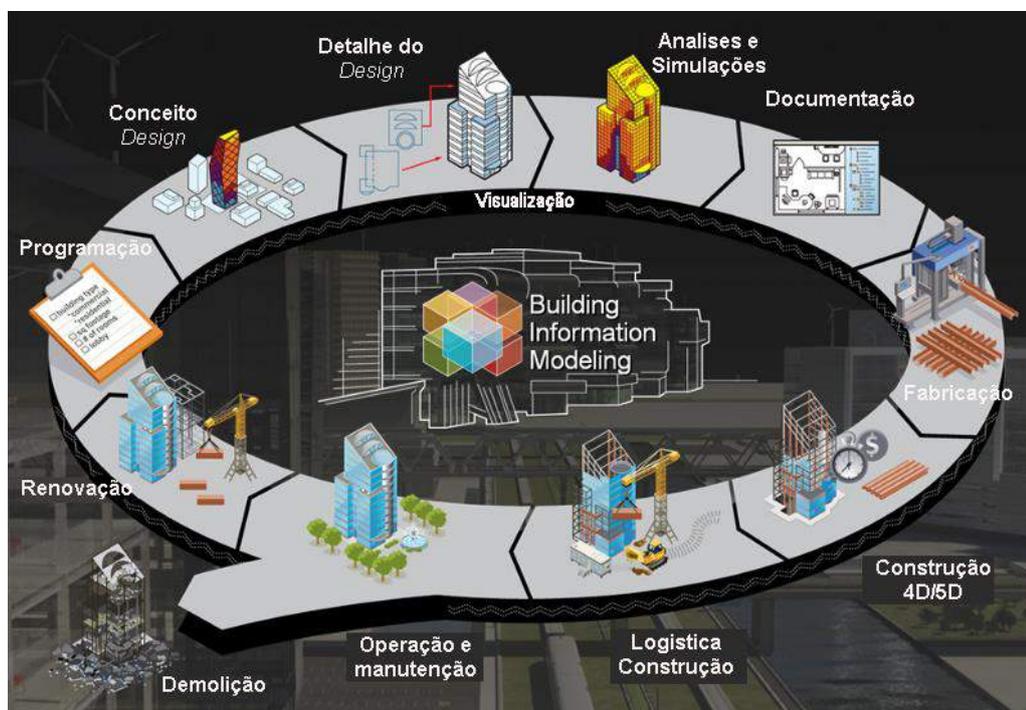
2.7.1 Definição de BIM

De acordo com Eastman et al. (2008), *Building Information Modeling* (BIM), ou Modelagem da Informação na Construção, é um dos mais audaciosos conceitos desenvolvidos na área da construção civil. Com a utilização da tecnologia BIM no desenvolvimento de projetos, o modelo da construção é apresentado de forma digital e contempla todos os dados relevantes para a sua realização.

Segundo Santos (2018d), “BIM é um processo integrado para criar, usar e atualizar um modelo digital de uma construção, podendo ser usado por todos os participantes do empreendimento, potencialmente durante todo o ciclo de vida da construção”.

As fases do ciclo de vida de um projeto elaborado com a utilização da modelagem da construção podem ser observadas na Figura 21.

Figura 21 – Ciclo de vida do projeto com a utilização do BIM



Fonte: Autodesk⁶, tradução livre da autora

⁶ <https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview>. Acesso em: 23 nov. 2019.

Eastman et al. (2008) relatam que, quando utilizado e implantado de forma correta no desenvolvimento de um projeto, o BIM possibilita melhor qualidade no resultado final devido aos inúmeros problemas antecipados durante a fase de concepção, além de uma redução no custo e no prazo de execução da obra. Ademais, os autores descrevem outros benefícios da utilização dessa ferramenta, tais como:

- Visualização antecipada e mais precisa de um projeto: o modelo gerado é projetado diretamente em 3D e permite a visualização do projeto em qualquer etapa do processo.
- Correções automáticas de baixo nível quando efetuadas apenas no projeto: o modelo está todo parametrizado e garante correções em todos os desenhos.
- Colaboração antecipada entre múltiplas disciplinas de projeto: trabalho simultâneo de múltiplas disciplinas.
- Verificação facilitada das intenções de projeto: o BIM proporciona, além do modelo 3D, estimativas de custos que comprovem sua viabilidade para o cliente.
- Melhoria da eficiência energética e sustentabilidade: vinculação do modelo a ferramentas de análise energética e de sustentabilidade.

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2016) apresenta três definições de BIM que podem resumi-lo em um processo de desenvolvimento de projeto que, com a combinação de um conjunto de políticas, processos e tecnologias, permite o gerenciamento do processo de projetar com o acesso às informações e aos dados de todo o ciclo de vida pelos agentes responsáveis pela realização da construção, por meio de plataformas digitais.

2.7.2 Nível de Desenvolvimento (LOD)

Para Santos (2018d), durante o desenvolvimento do projeto, alguns de seus elementos evoluem de simples ideias conceituais para descrições precisas e essa evolução é refletida nos modelos BIM. Normalmente, apenas o autor do projeto tem conhecimento do estágio desenvolvido, diferentemente dos demais agentes envolvidos; portanto, a precisão do modelo desenvolvido pode gerar interpretações equivocadas.

Ainda segundo Santos (2018d), um elemento genérico e com localização aproximada no projeto pode apresentar a mesma aparência de um elemento em seu estágio final, posicionado precisamente no modelo BIM. Dessa forma, o autor precisa se proteger contra o uso de informações não finalizadas e, ao mesmo tempo, disponibilizar outras informações presentes em seu modelo BIM.

Com isso, foi desenvolvido o *Level of Development* (LOD), ou Nível de Desenvolvimento, que tem por objetivo apresentar e referenciar o nível de confiabilidade das informações do modelo. Tem-se um conceito importante para o uso no momento da contratação do serviço que envolve entregas do modelo BIM e especifica o grau de detalhamento geométrico e informacional que o modelo deve apresentar, estabelecendo, assim, uma referência padronizada para o conteúdo e a confiabilidade de modelos BIM em vários estágios dos processos de projeto e construção.

Santos (2018b) apresenta seis diferentes escalas de desenvolvimento criadas pelo *American Institute of Architects* (AIA) que foram, posteriormente, adaptadas pelo BIM Fórum 2013⁷, com as seguintes características:

- LOD 100: representação simbólica e não gráfica
- LOD 200: representação genérica e sem especificação de medidas
- LOD 300: representação exata de dimensões e localização
- LOD 350: representação exata de dimensões e localização, com interfaces precisas (nível incluído em 2013 no BIM Fórum)
- LOD 400: representação utilizada para fabricação
- LOD 500: elementos *as-built*

⁷ O BIM Fórum iniciou seu desenvolvimento em 2011, baseado nas especificações LOD do AIA e composto por um grupo de profissionais da área de projeto e da construção. O objetivo era abordar a geometria dos elementos do modelo e ilustrar as interpretações em todos os níveis. Devido ao uso contínuo do BIM, uma nova versão do guia é lançada anualmente, com as adaptações necessárias.

2.7.3 Modelagem 4D, 5D, 6D e 7D

De acordo com Smith (2014), a modelagem do BIM está atrelada às diferentes dimensões introduzidas no projeto, já que o uso dessa ferramenta envolve muito mais do que a simples modelagem 3D (Figura 22). Segundo o autor, as combinações da modelagem 3D com as outras dimensões são definidas como:

- 4D: modelagem 3D + tempo
- 5D: modelagem 4D + custo
- 6D: modelagem 5D + sustentabilidade
- 7D: modelagem 6D + operações *as-built*

Santos (2018b) entende que a denominação da modelagem 4D é a junção da geometria do modelo (3D) com o cronograma de execução, que possibilita a visualização (virtual) da sequência construtiva. Para o autor, os principais usos dessa dimensão voltam-se para o planejamento, o plano de ataque e o controle de cronograma.

Com relação à dimensão 5D, tem-se a dimensão 4D somada aos recursos necessários à execução da obra, que permitem a visualização e o controle de sua evolução física e financeira.

Figura 22 – Diferentes dimensões do BIM



Fonte: <http://biblus.accasoftware.com>, tradução livre da autora

Santos (2018b) cita que, a partir da dimensão 6D, há diferentes interpretações para as modelagens consecutivas. Para alguns autores, essa modelagem é considerada como sendo 7D; esta, no entanto, atribui à dimensão 6D a relação com a sustentabilidade, como cálculos de pontuação LEED⁸, escolhas de materiais ou processos mais sustentáveis, análises energéticas, entre outros. Por fim, a dimensão 7D, utilizada para gerenciamento de *facilities*, também pode ser empregada nas operações e manutenções da construção.

2.7.4 Principais Usos e Benefícios

A CBIC (2016) classifica os principais benefícios que podem ser alcançados por uma empresa com a utilização do BIM em seu processo de projeto:

- Visualização em 3D, entretanto, nem todo modelo 3D é BIM
- Extração automática das quantidades de serviços e componentes dos projetos
- Realização de simulações e ensaios virtuais: simulações do comportamento e desempenhos de edifícios e instalações
- Identificação automática de interferências
- Geração de documentos mais consistentes e mais íntegros
- Possibilidade de executar projetos mais complexos
- Viabilização e intensificação do uso da industrialização
- Complemento do uso de outras tecnologias
- Preparo das empresas para um cenário futuro
- Análises de construtibilidade
- Desenvolvimento de maquetes eletrônicas
- Registro e controle visual de diferentes versões dos modelos

⁸ LEED: sigla de *Leadership in Energy and Environmental Design* (Liderança em Energia e Design Ambiental), criada pelo *United States Green Building Council* (USGBC) com o intuito de promover e fomentar práticas sustentáveis, possibilitando o surgimento de um sistema de classificação como forma de estabelecer estratégias e padrões para criação de edifícios sustentáveis, assim como seu processo de desenvolvimento. Fonte: <https://new.usgbc.org/leed>. Acesso em: 23 nov. 2019.

Santos (2018c) ressalta alguns benefícios gerais obtidos com o uso do BIM no projeto:

- Detecção antecipada de interferências entre disciplinas (compatibilização)
- Redução de riscos (construção virtual)
- Aumento de produtividade (planejamento, automação)
- Controle de prazo e qualidade da obra facilitado (cronograma, *as-built*)
- Melhora na qualidade dos projetos (acurácia e valor)
- Redução nos custos de projeto e produção
- Redução nos custos de operação e manutenção

O mesmo autor classifica a empregabilidade do BIM durante todo o ciclo de vida do projeto, dividindo-o em seis fases desde seu desenvolvimento: Concepção, Projeto, Planejamento, Construção, Operação/Manutenção e Retrofit/Demolição. Durante a fase de Concepção, o BIM pode ser aplicado no desenvolvimento do programa arquitetônico, estudos de massa, estudos de movimentação de terra, estimativa de custos preliminares e visualização pelo cliente (SANTOS, 2018c).

No caso do Projeto, a ferramenta é utilizada para modelagem 3D paramétrica, desenvolvimento do projeto simultâneo com outros agentes envolvidos, simulação e análises, geração de documentação, compatibilização com as outras instalações, avaliação de sustentabilidade (Certificados LEED, AQUA⁹, entre outros) e verificação de atendimento às normas.

Já na fase de Planejamento, Santos (2018c) destaca que o BIM pode ser empregado na extração de quantitativos, planejamento 4D-tempo (plano de ataque, sequenciamento, cronograma e comparação entre o real e planejado), planejamento 5D-custo (cronograma físico-financeiro).

Na fase da Construção, sua utilização volta-se para a evidência do máximo de detalhes, representação de elementos temporários (equipamentos, fôrmas,

⁹ AQUA: sigla de Alta Qualidade Ambiental, com origem no certificado francês HQE (*Haute Qualité Environnementale*), introduzido no Brasil em 2008 e adaptado aos padrões brasileiros, aplicado pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini. Fonte: <https://vanzolini.org.br/aqua>. Acesso em: 23 nov. 2019.

andaimes), desenvolvimento do projeto de *layout* e logística do canteiro de obra, locação automatizada, pré-construção e pré-fabricação.

A etapa de Operação e Manutenção adota o uso da ferramenta para equipamentos, manuais, especificações, garantias, lista de peças de reposição, esquema de manutenção preventiva, *as-built*, procedimentos de manutenção, contatos dos fornecedores, registros de testes, documentos regulatórios, entre outros.

Por fim, no caso da Demolição e Retrofit, o BIM opera o levantamento de condições existentes, planejamento de reforma em uso, planejamento da demolição, resgate em catástrofes (como terremotos, deslizamentos, tsunamis, terrorismo, etc.) e reciclagem de materiais.

2.7.5 Nível de Maturidade

Segundo Manzione (2013), o nível de maturidade é a medida do desenvolvimento de um projeto em relação às suas metas previamente definidas (Figura 23). Essas metas são fixadas pelos objetivos do negócio: usos preestabelecidos do BIM, compatibilidade geométrica e sistema de planejamento e controle.

Figura 23 – Nível de maturidade



Fonte: Manzione (2013)

O primeiro quadrante dentro do nível de maturidade abordado por Manzione (2013) contempla os objetivos do empreendimento, que incluem a elaboração do programa de necessidades, a razão da falta de atenção dada ao tema e, ao mesmo tempo, sua alta complexidade para o planejamento do empreendimento. Muitos problemas encontrados nessa etapa, como a desorganização do fluxo de informações ou a falta de dados para o planejamento do processo de projetos, resultam em retrabalhos, atrasos e, conseqüentemente, aumentos nos custos dos projetos.

Outra questão ressaltada por Manzione (2013) prende-se ao fato de que, com a evolução do projeto, muitas mudanças são efetuadas e alteram o programa inicial; ao final, tais soluções não atendem ao programa original. Por isso, há necessidade de monitoramentos e ajustes contínuos das soluções e do próprio programa, com a finalidade de alinhar o produto final aos objetivos iniciais do empreendimento.

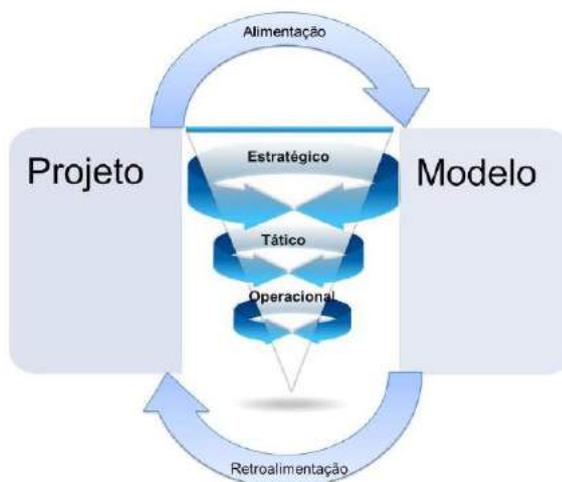
No segundo quadrante do nível de maturidade, o autor destaca o nível de desenvolvimento (LOD) como um termo que une dois aspectos da informação: nível de detalhe geométrico e nível de informações. Manzione (2013) demonstra como calculá-lo com a utilização da planilha Excel associada ao *software* Solibri. Esse método consiste em relacionar e associar os elementos construtivos do projeto aos níveis de desenvolvimento pré-estabelecidos pela classificação *OmniClass*¹⁰.

O quadrante seguinte trata da compatibilidade geométrica, processo paramétrico que utiliza *softwares* específicos, como Solibri ou *Navisworks*, para detectar eventuais interferências. Manzione (2013) relata que o indicador chave de desempenho (ICD) denomina-se de densidade de interferências (DI), que é a razão entre o número de interferência e o volume da envoltória do edifício.

Por fim, o último quadrante envolve o planejamento e o controle do processo de projeto, que abordam tanto o processo de gestão quanto o processo de modelagem, relacionando-os (Figura 24). Com isso, o método em questão é dividido em três níveis de planejamento: estratégico, tático e operacional, com uma estrutura integrada, uma estrutura analítica do projeto (EAP) e uma estrutura analítica do modelo (EAM) (MANZIONE, 2013).

¹⁰*OmniClass*® é um sistema de classificação abrangente para a indústria da construção que pode ser utilizado para muitas finalidades, como arquivar materiais físicos ou organizar informações do projeto, mas seu principal objetivo é fornecer uma estrutura de classificação para bancos de dados e *softwares* eletrônicos, enriquecendo as informações empregadas nesses recursos.

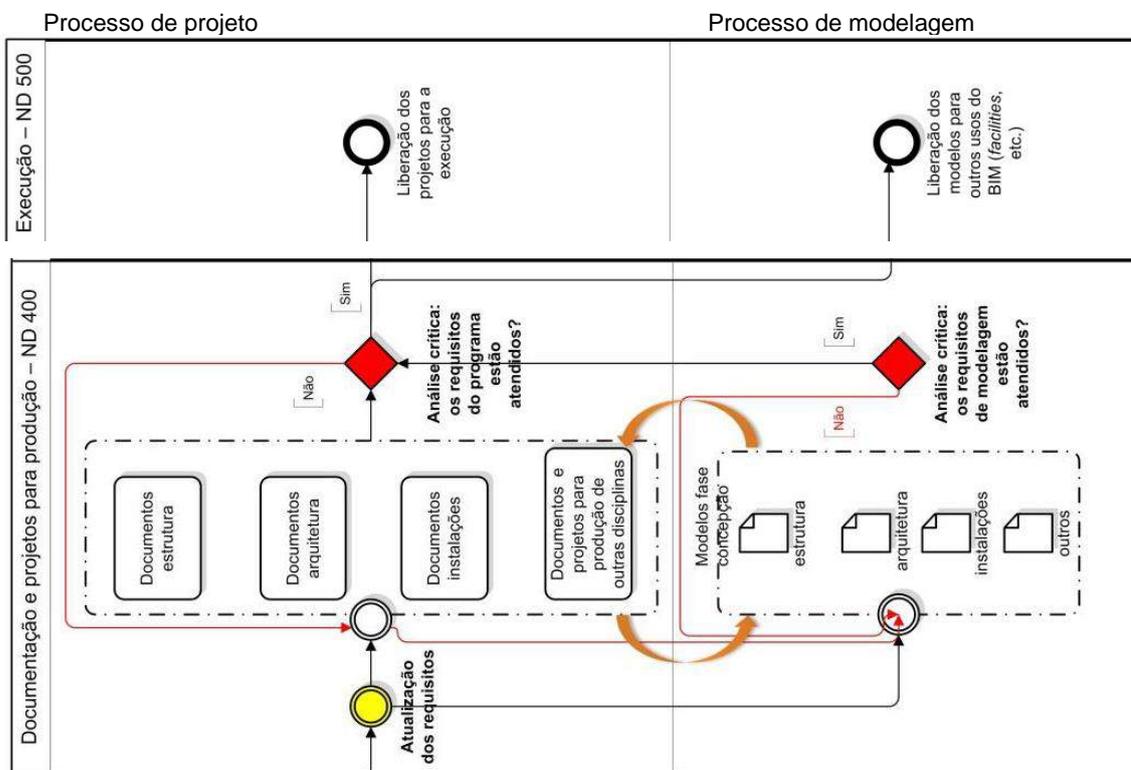
Figura 24 – Relação entre a gestão do projeto e a gestão do modelo

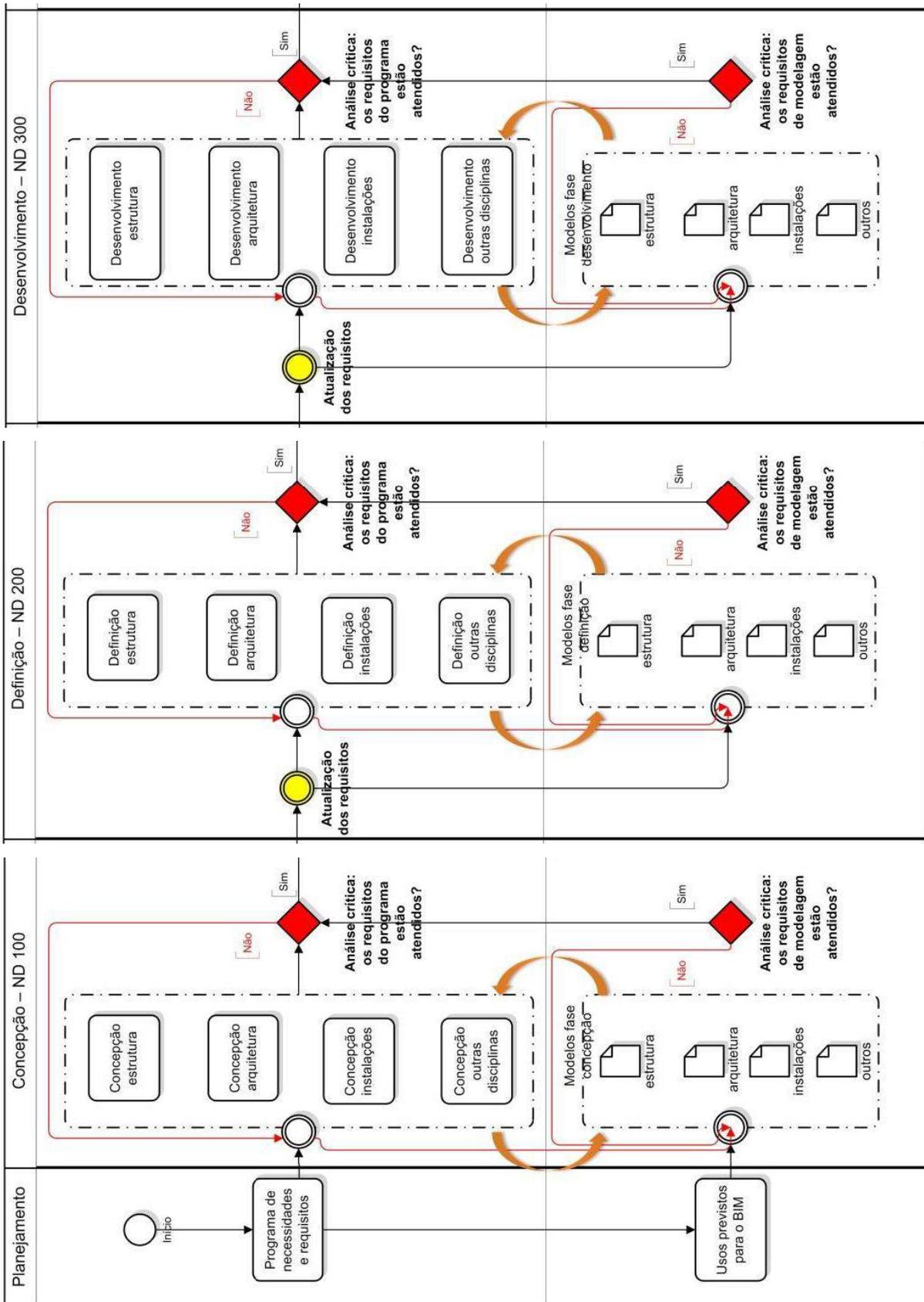


Fonte: Manzione (2013)

Manzione (2013) entende que o planejamento estratégico de longo prazo adota o conceito do macrofluxo do processo de projeto e da modelagem, que é composto por uma estrutura conceitual: concepção, definição, desenvolvimento e documentação, conforme demonstrado na Figura 25.

Figura 25 – Macrofluxo do processo de projeto e modelagem





Fonte: Manzione (2013)

Observando a figura acima, Manzione (2013) destaca que, no início de cada fase, existe a necessidade de verificação e atualização do programa e, ao seu final, elaboram-se a análise crítica e os cálculos dos indicadores de desempenho. Posteriormente, inicia-se a montagem da *Design Structure Matrix* (DSM), ou Matriz de Estrutura de Projeto: trata-se de uma matriz quadrada que lista todas as atividades e dependências do sistema entre elas; com os dados exportados para um *software* de programa de projeto (*MS Project*), define-se o cronograma geral do projeto com os prazos estabelecidos pelos agentes responsáveis.

As etapas de planejamento tático e operacional abrangem o detalhamento das atividades das fases de projeto para intervalos de tempo curtos (médio e curto prazo). Nessa fase, Manzione (2013) menciona a importância da distinção entre o processo de projeto e o de produção, de modo que o primeiro é cíclico e interativo, baseado em troca de informações; o segundo é linear e baseia-se em entregas de produtos.

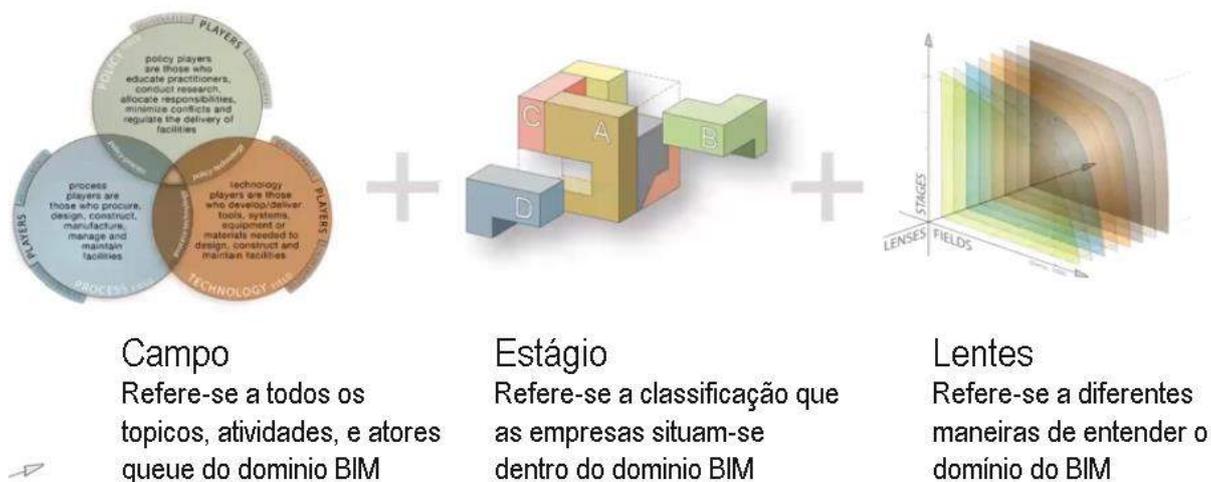
Assim como Sacks et al. (2010), Manzione (2013) afirma que a falta de informação e/ou mudanças durante o desenvolvimento do projeto são fatores que contribuem para o retrabalho e para a perda de tempo.

2.7.6 Metodologia Succar

Succar (2008) define a estrutura do BIM em três eixos descritos abaixo e ilustrados pela Figura 26:

- BIM *Fields*, ou Campos do BIM, referem-se às atividades e agentes divididos em três áreas: política, tecnologias e processos.
- BIM *Stages*: são as classificações/etapas que definem o grau de execução de uma tarefa por uma empresa dentro do domínio BIM.
- BIM *Lenses*, ou Lentes do BIM, são diferentes maneiras de entender o domínio da ferramenta, com análises seletivas de determinados aspectos do BIM. Avalia e qualifica os dois eixos anteriores.

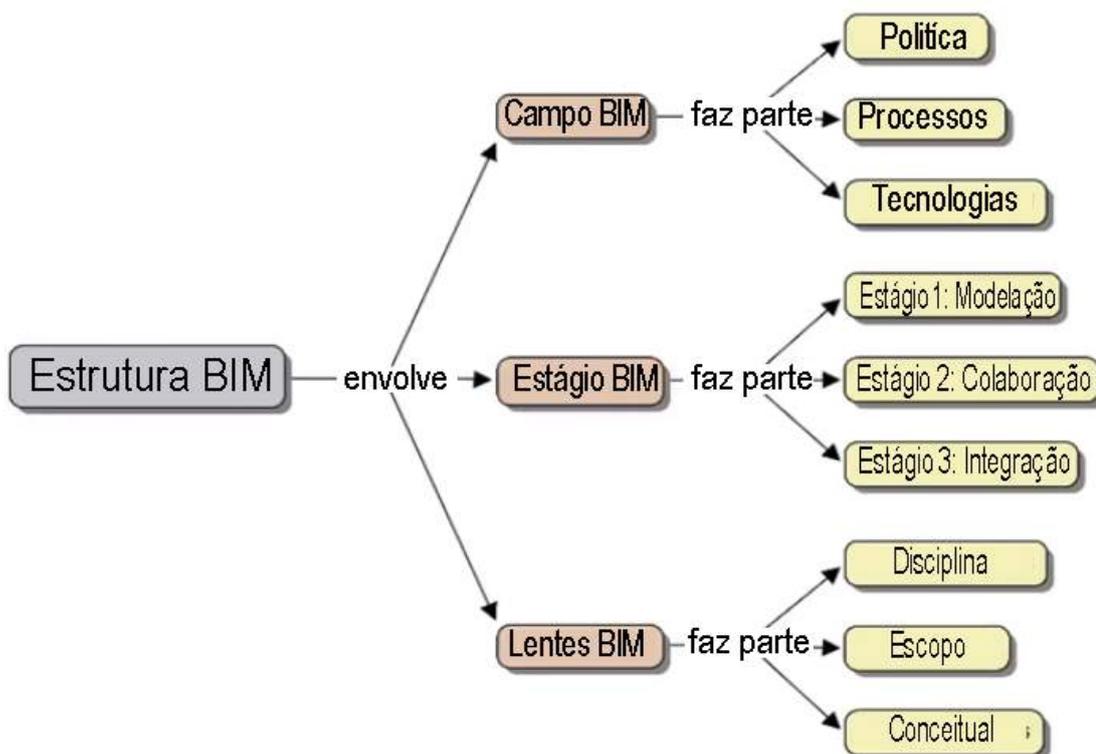
Figura 26 – Estrutura do BIM em três eixos



Fonte: Succar (2008), tradução livre da autora

Succar (2008a) desenvolveu um guia de taxonomia para melhor compreensão da relação das três vertentes dentro da estrutura do BIM, conforme se observa na Figura 27.

Figura 27 – Taxonomia da estrutura BIM



Fonte: Succar (2008), tradução livre da autora

Segundo Santos (2018c), o pesquisador turco Bilal Succar desenvolveu uma metodologia para analisar, quantificar e qualificar o uso da modelagem da informação em empresas. Succar (2008b), dentro do Campos do BIM, desenvolveu três estágios (e duas fases complementares: pré-BIM e pós-BIM) de implementação dessa ferramenta em ambientes corporativos, já que sua adoção, tanto por empresas quanto por profissionais, é um processo de longo prazo, que deve ser dividido em estágios para facilitar a classificação (Figura 28):

- Pré-BIM: desenhos CAD 2D, com algumas visualizações em 3D – falta da interoperabilidade.
- BIM Estágio 1: início da implementação do BIM, mas ainda sem colaboração entre os agentes (modelagem).
- BIM Estágio 2: início da colaboração entre as disciplinas, troca de arquivos em IFC (colaboração).
- BIM Estágio 3: integração, análises mais complexas do desempenho do edifício.
- Pós-BIM – *Integrated Project Delivery (IPD)*¹¹: as relações contratuais se alteram e se baseiam na colaboração efetiva de todos os agentes envolvidos.

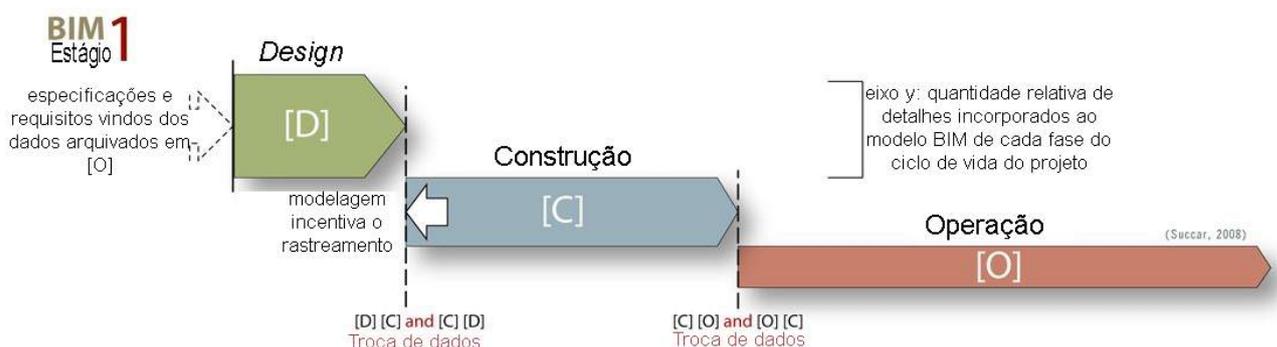


Fonte: Succar (2008b), tradução livre da autora

¹¹ De acordo com o AIA, IPD é uma abordagem de entrega do projeto que integra pessoas, sistemas, estruturas e práticas de negócio em um processo que, colaborativamente, aproveita os talentos e conhecimentos de todos os participantes para otimizar os resultados do projeto, aumentar o valor para o proprietário, reduzir o desperdício e maximizar a eficiência em todas as fases de projeto, construção e fabricação.

Succar (2008c) esclarece que cada estágio de implementação do BIM em uma empresa possui um ciclo de vida diferente em cada etapa. No BIM Estágio 1, no qual o agente inicia a implantação de mais informações sobre o modelo (processo linear), os outros agentes não se beneficiam dessa vantagem e não trocam informações a ele adicionadas (Figura 29).

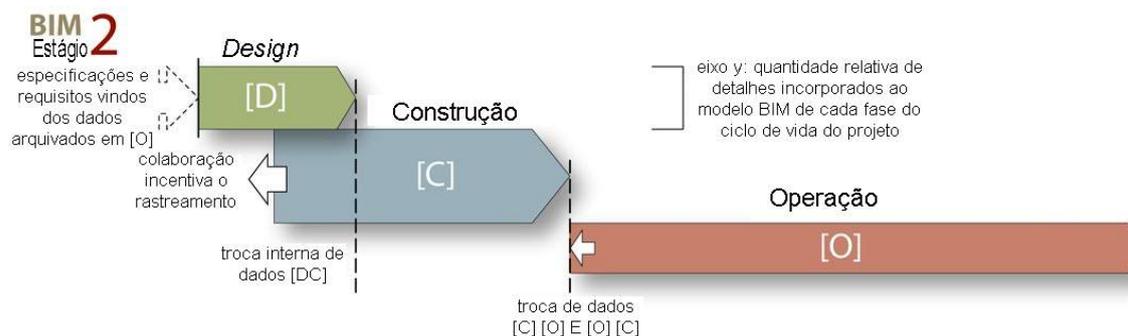
Figura 29 – Ciclo de vida do projeto na fase do BIM Estágio 1



Fonte: Succar (2008c), tradução livre da autora

Na etapa seguinte, BIM Estágio 2, ilustrada pela Figura 30, Succar (2008c) descreve que, com a colaboração entre os agentes na fase de desenvolvimento do projeto, percebe-se a antecipação da fase da construção e o início da simultaneidade do processo de concepção do projeto e da construção, porém, não inteiramente.

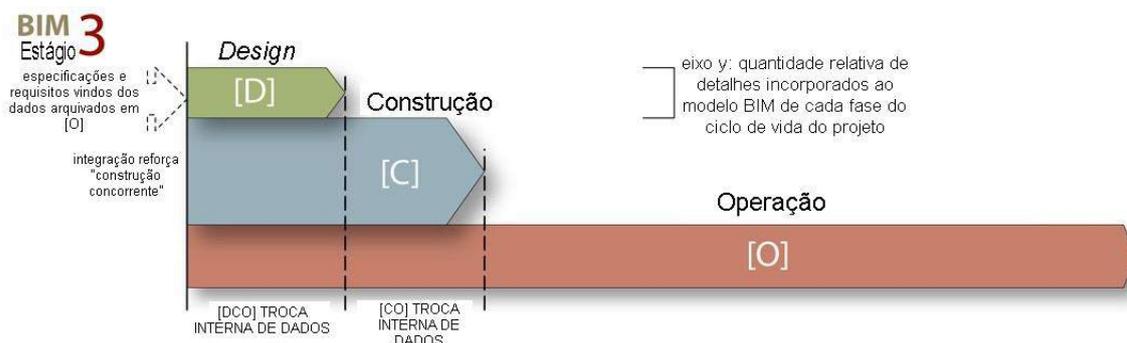
Figura 30 – Ciclo de vida da fase BIM Estágio 2



Fonte: Succar (2008c), tradução livre da autora

Por fim, na fase BIM Estágio 3, a integração entre BIM e IPD possibilita que as etapas ocorram de forma simultânea, que os agentes possam trocar informações no seu início e que o modelo se torne mais completo na fase da produção (Figura 31).

Figura 31 – Ciclo de vida da fase BIM Estágio 3



Fonte: Succar (2008c), tradução livre da autora

Segundo Sacks et al. (2010), um projeto pode apresentar características de melhoria em seu desenvolvimento apenas com a adoção do IPD, que, de acordo com o AIA (2007), é um mecanismo possível de ser alcançado sem a utilização do BIM; contudo, para atingir a eficiência da colaboração necessária, recomenda-se o uso dessa ferramenta.

O AIA (2007) também ressalta que os aspectos do sistema IPD estão diretamente relacionados ao sistema de contratação, no qual os projetistas, o cliente e a construtora trabalham de forma conjunta para o desenvolvimento de um projeto, proporcionando um fluxo contínuo nas entregas das etapas estabelecidas. Além disso, a relação entre as partes é colaborativa (Figura 32): os acordos contratuais podem ser plurilaterais ou em forma de contrato guarda-chuva, que possui um objeto impreciso e pouco detalhado.

Figura 32 – Sistema contratual IPD

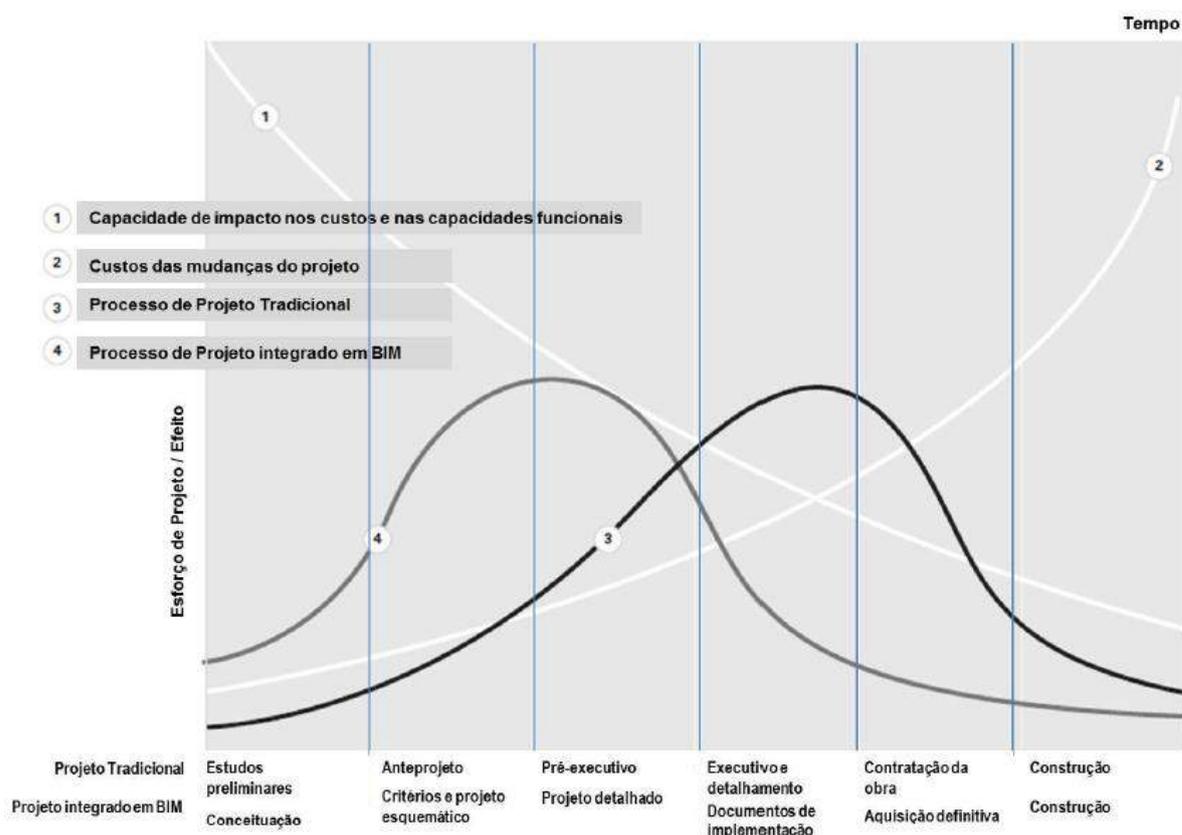


Fonte: AIA (2007), tradução livre da autora

Manzione (2013) demonstra em sua pesquisa a Curva MacLeamy (Figura 33), um gráfico bem difundido no setor da arquitetura e da construção que sintetiza os

conceitos apresentados. Nessa curva, as etapas do projeto tradicional foram adequadas ao modelo BIM, mostrando que os esforços empreendidos durante a fase de concepção do projeto são antecipados quando a plataforma é utilizada, diminuindo, conseqüentemente, os esforços na etapa de construção.

Figura 33 – Curva MacLeamy



Fonte: American Institute of Architects (2007 apud MANZIONE, 2013)

2.8 Integração de *Lean* e BIM na Construção Civil

Esta pesquisa tem como direcionamento as possíveis interferências do *Lean* e do BIM no setor da construção. Uma justificativa de extrema importância é a falta de artigos nacionais relacionados ao tema, sugerindo a necessidade de uma abordagem mais ampla na construção civil do Brasil.

2.8.1 Integração de BIM e *Lean Design* durante a Fase de Concepção do Projeto

De acordo com Sacks et al. (2010), os conceitos de *Lean* e BIM são independentes e distintos, porém, a sinergia entre eles se estende para além da

essência natural. Da mesma forma, Franco (2016) descreve que, com a utilização de tecnologias, a aplicação dos conceitos do *Lean* torna-se mais fácil.

Primeiramente, a pesquisa de Sacks et al. (2010) identificou todos os princípios do *Lean* e do BIM e, posteriormente, iniciou as interações e combinações possíveis segundo uma ordem de classificação (Tabelas 1, 2, 3 e Figura 34).

Tabela 1 – Principais princípios do *Lean*

| Principais Áreas | Princípios | Atividades | Itens | |
|--|---|--|-------|---|
| Processos de Fluxo | Redução da variabilidade | Obter a qualidade certa na primeira vez | A | |
| | | Foco na melhoria da variabilidade do fluxo | B | |
| | Redução do tempo de ciclos | Reduzir as durações dos ciclos de produção | C | |
| | | Reduzir o inventário | D | |
| | Redução do tamanho de lotes | | E | |
| | Aumento da flexibilidade | Reduzir as alterações | F | |
| | | Utilização de equipes multiespecializadas | G | |
| | Seleção da abordagem do controle da produção apropriada | Uso de sistemas de tração | H | |
| | | Nivelamento da produção | I | |
| | Padronização | | J | |
| | Melhoria contínua | | K | |
| | Utilização do gerenciamento visual | Visualização dos métodos de produção | L | |
| | | Visualização dos processos de produção | M | |
| | Produção do sistema de projeto para fluxo e valor | Simplificação | | N |
| | | Utilização de processos paralelos | | O |
| Utilização de tecnologia confiável | | P | | |
| Garantir a capacidade do sistema de produção | | Q | | |
| Processos de geração de valor | Garantir o entendimento abrangente dos requisitos | | R | |
| | Foco na seleção do conceito | | S | |
| | Garantir o fluxo dos requisitos | | T | |
| | Verificar e validar | | U | |
| Solução dos problemas | Ir e ver por si mesmo | | V | |
| | Decidir por consenso, considera todas as opções | | W | |
| Desenvolvendo parceiros | Cultivar extensa rede de parceiros | | X | |

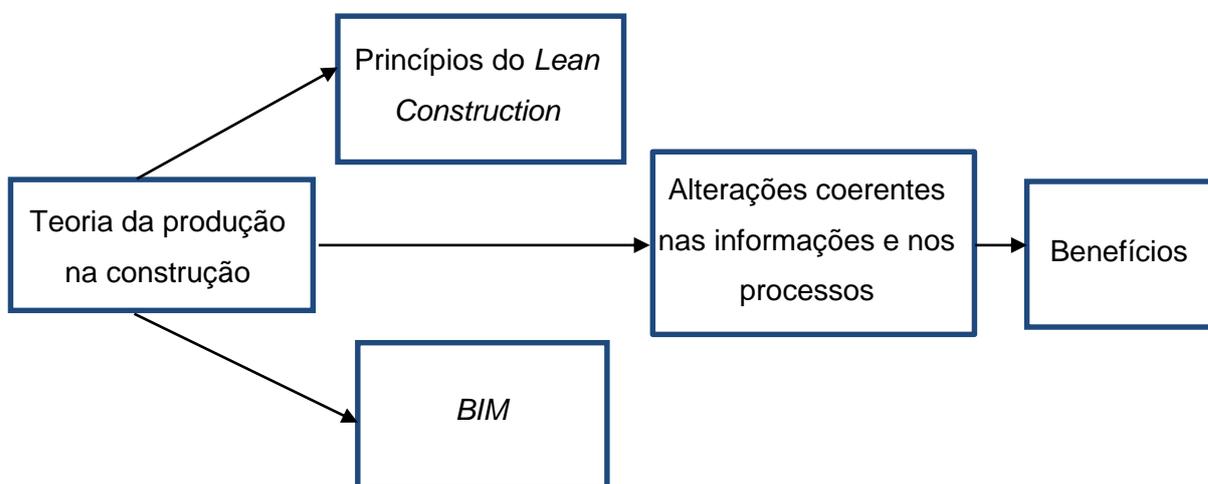
Fonte: Sacks et al. (2010), tradução livre da autora

Tabela 2 – Funcionalidades do BIM

| Fases | Área funcional e funções | | Itens |
|-------------------------------------|--|--|-------|
| Design-Desenvolvimento de projeto | Visualização da forma | Avaliação estética e funcional | 1 |
| | Rápida geração de múltiplas alternativas de solução de projeto | | 2 |
| | Reutilização de dados do modelo para análises preditivas | Análise preditiva funcional | 3 |
| | | Estimativa de custos automatizada | 4 |
| | | Avaliação da conformidade do programa e valor do cliente | 5 |
| | Manutenção da integridade do modelo de informação e projeto | Única fonte de informação | 6 |
| | | Verificação automática de colisões (compatibilização) | 7 |
| | Geração automática de desenhos e documentos | | 8 |
| Design e Fabricação de Detalhamento | Colaboração em projeto e construção | Edição multiusuário de um modelo de disciplina única | 9 |
| | | Visualização multiusuário de modelos multidisciplinares mesclados ou separados | 10 |
| Pré-construção e Construção | Rápida geração e avaliação de alternativas da construção | Geração automática das tarefas da construção | 11 |
| | | Simulação do processo de construção | 12 |
| | | Visualização 4D da programação da construção | 13 |
| | Online/Comunicação eletrônica | Visualização do processo | 14 |
| | | Comunicação eletrônica do produto e informação do processo | 15 |
| | | Fabricação controlada | 16 |
| | | Integração com parceiros do projeto (<i>supply chain</i>) | 17 |
| | | Fornecimento de contexto para coleta de dados do status do local | 18 |

Fonte: Sacks et al. (2010), tradução livre da autora

Figura 34 – Teoria da produção na construção



Fonte: Sacks et al. (2010), tradução livre da autora

Tabela 3 – Comparação entre *Lean* e BIM

| | | | BIM | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|-------|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|-------------------------------------|----|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | Design - Desenvolvimento de projeto | | | | | | | | Design e Fabricação de detalhamento | | Pré-construção e Construção | | | | | | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| LEAN | Áreas | Itens | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Processos de Fluxo | A | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | B | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | C | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | D | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | E | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | F | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | G | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | H | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | I | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | J | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | K | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | L | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | M | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | N | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | O | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | P | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | | |
| | Q | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | | |
| | Processos de Geração de valor | R | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | S | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | T | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | U | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | Solução dos Problemas | V | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| | | W | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | |
| Desenvolvendo Parceiros | X | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | █ | | |

Fonte: Sacks et al. (2010), tradução livre da autora

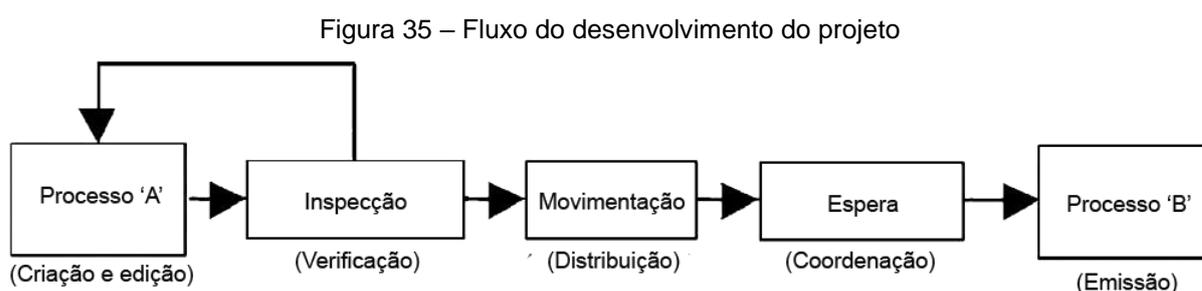
A Tabela 3 demonstra as interações positivas (cinza) e negativas (laranja) apresentadas pelo *Lean* e pelo BIM dentro dos estudos elaborados por Sacks et al.

(2010). Para os autores, a preponderância das interações positivas sobre as negativas é evidente, mas o leitor não deve supor que suas realizações, na prática, são diretas.

Diversos estudos analisados por Sacks et al. (2010) mostraram que a aplicação da tecnologia de informação no gerenciamento de obras falhou em certas circunstâncias para proporcionar um retorno positivo no investimento. Por fim, os autores propõem que, para se beneficiar das melhorias da integração desses dois princípios (*Lean* e BIM), deve-se também aprofundar o entendimento conceitual da teoria da produção no setor da construção.

Rischmoller et al. (2006) analisaram como o uso de *Computer Advanced Visualization Tools* (CAVT) pode impactar os processos de desenvolvimento de projeto e construção com a adoção dos princípios do *Lean* como forma de gerar valor para o projeto. Nesse caso, corroborando com Sacks et al. (2010), os autores consideram a utilização do CAVT equivalente ao uso do BIM, tendo em vista suas similaridades de tecnologia e princípios.

Inicialmente, Rischmoller et al. (2006) avaliaram todas as atividades que, na visão do cliente, não adicionavam valor ao produto; conseqüentemente, havia desperdícios no processo de projeto. Constatou-se então que tais desperdícios no fluxo de desenvolvimento de projeto, representado pela Figura 35, eram: inspeção, movimentação e esperas por falta de informação.



Fonte: Rischmoller et al. (2006), tradução livre da autora

Por outro lado, Freire e Alarcón (2002) analisaram três estudos de caso e concluíram que as principais categorias que apresentam desperdícios durante a fase de concepção do projeto são a ignorância das necessidades do cliente, a burocracia e os relatórios, a falta de informação, a coordenação interdisciplinar e o retrabalho.

Freire e Alarcón (2002) também apresentaram a distribuição de tempo durante o processo de projeto (Tabela 4), o que permite concluir a importância representada pela etapa de criação/projeção durante essa fase. No entanto, após analisarem em qual fase existe maior tempo de espera, a fim de proporcionar a redução de desperdícios, a resposta encontrada pelos autores indicou a etapa de coleta de informações (Tabela 5).

Tabela 4 – Distribuição de tempo na fase do desenvolvimento de projeto

| Categoria | Modelo <i>Lean Design</i> | Duração (%) |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Projetando | Criação | 50.2 |
| Verificando informações | Verificação | 8.2 |
| Coletando dados | Distribuição/Coordenação | 28.1 |
| Corrigindo informação | Mudanças | 12.2 |
| Emissão | Emissão | 1.4 |

Fonte: Freire e Alarcón (2002 apud RISCHMOLLER et al., 2006), tradução livre da autora

Tabela 5 – Tempo de espera na fase do desenvolvimento de projeto

| Categoria | Modelo <i>Lean Design</i> | Tempo de espera (%) |
|-------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Projetando | Criação | 8.3 |
| Verificando informações | Verificação | 4.0 |
| Coletando dados | Distribuição/Coordenação | 21.0 |
| Corrigindo informação | Mudanças | 7.1 |
| Emissão | Emissão | 0.0 |

Fonte: Freire e Alarcón (2002 apud RISCHMOLLER et al., 2006), tradução livre da autora

De acordo com Rischmoller et al. (2006), durante a fase de concepção, o valor agregado ao projeto (necessidades do cliente traduzidas em soluções de concepção) é mais significativo do que na fase da construção. Outro ponto importante observado na Tabela 5 é que, no momento de coleta e distribuição de dados, se encontra a maior porcentagem de tempo de espera na fase de desenvolvimento de projeto. Esse fato pode ser creditado à ruptura e à descontinuidade da troca de informações e comunicação dos diferentes projetistas, e ao arquivamento isolado dos dados do projeto, prejudicando o acesso à evolução do projeto pelos projetistas das diferentes áreas (RADL; KAIZER, 2018).

Com isso, a PAS 1192 (*BRITISH STANDARDS INSTITUTION*, 2013) dispõe sobre a criação da tecnologia do Ambiente Comum de Dados (*Common Data*

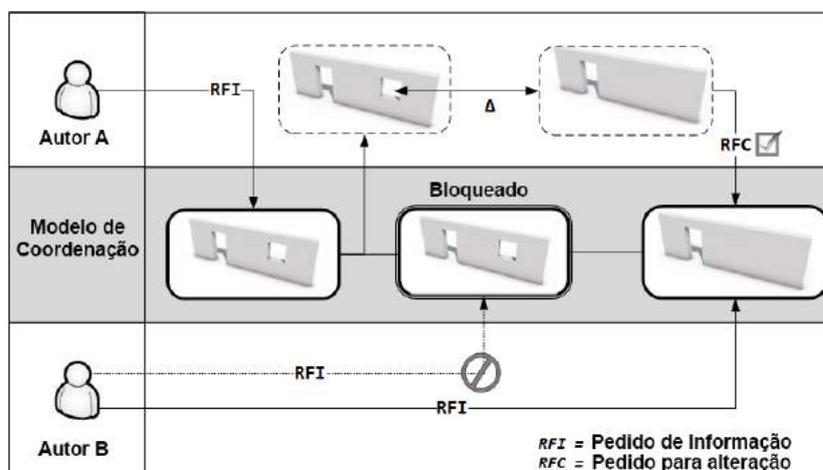
Environment – CDE), com o intuito de otimizar o armazenamento e a administração dos diferentes arquivos do projeto, permitindo um fluxo contínuo de seu ciclo de vida.

Preidel et al (2016) definem o CDE como a central virtual que coleta, gerencia, avalia e compartilha informações do modelo e arquivos necessários tanto para o desenvolvimento do projeto quanto para a execução do projeto. Além disso, essa tecnologia é utilizada como uma plataforma para os processos de colaboração entre os diversos agentes, reduzindo os riscos de redundância de dados e garantindo que o modelo esteja sempre atualizado.

Com o uso do CDE, os principais desafios observados são a preservação da qualidade do modelo e a consistência dos dados. Trata-se de uma ferramenta essencial que garante e mantém a qualidade contínua do projeto, em consonância com os padrões estabelecidos e acordados por todos os agentes, válidos para qualquer informação do projeto. Posteriormente, os projetos de todas as disciplinas devem ser incorporados ao modelo de coordenação para verificação do projeto completo (PREIDEL et al., 2016).

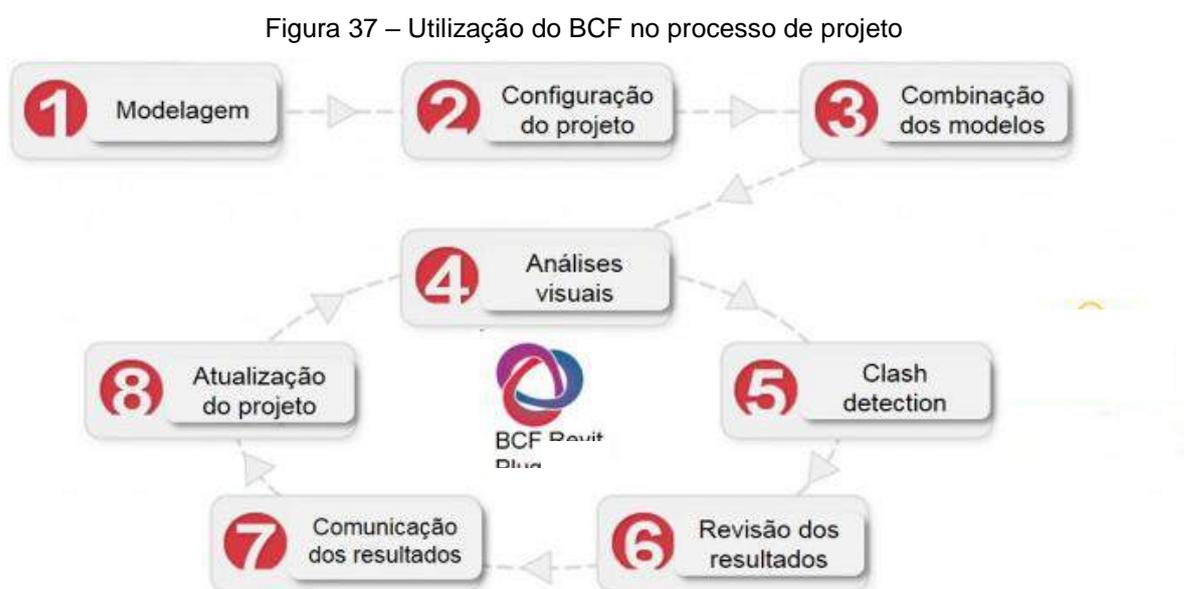
Por outro lado, a inconsistência dos dados ocorre devido à mescla de um modelo específico com o modelo de coordenação (Figura 36). Como solução, elabora-se uma administração de dados e alterações denominada gerenciamento delta (*management delta*), além de um mecanismo de bloqueio para lidar com os acessos simultâneos aos dados (PREIDEL et al., 2016).

Figura 36 – Exemplo de mecanismo de bloqueio para preservar a consistência dos dados



Fonte: Preidel et al. (2016)

Por fim, Preidel et al (2016) mencionam que outra parte essencial do CDE é a forte comunicação entre os agentes envolvidos no processo de projeto. A informação compartilhada entre os participantes pode ser armazenada de acordo com o *BIM Collaboration Format* (BCF), ou formato de colaboração BIM, que codifica mensagens, comentários, *screenshots*, posição da câmera e planos de corte 3D efetuados pela sobreposição dos diferentes modelos das disciplinas participantes, conforme ilustrado na Figura 37.



Fonte: <https://www.makebim.com>, acesso em maio de 2020

2.8.2 Integrando BIM e *Lean Construction* durante a Fase de Projeto

Segundo Tauriainen et al. (2016), para introduzir os conceitos e princípios BIM e *Lean Construction* nos projetos, é necessário, preliminarmente, identificar e resolver os problemas que impactam essa fase. Da mesma maneira, Huovila et al. (1997) relatam que os problemas de projeto são identificados apenas na etapa de construção, gerando atrasos inesperados durante a etapa de execução.

Após a identificação dos problemas e soluções que, conseqüentemente, agregou valor às atividades de desenvolvimento do projeto, este será encaminhado para um processo de construção mais rápido, harmonioso e econômico (TAURIAINEN et al., 2016).

Os benefícios produzidos pelo BIM no decorrer do desenvolvimento de projeto reduzem conflitos de informações devido à concentração dos dados em uma única fonte; além disso, permitem a verificação ativa dos eventuais conflitos de compatibilização das diferentes disciplinas. Quando o BIM é implantado nas empresas, há uma mudança nos processos de desenvolvimento de projeto e, conseqüentemente, removem-se muitas tarefas que não agregam valor ao projeto (TAURIAINEN et al., 2016).

Os princípios do *Lean* também possuem a capacidade de eliminar os desperdícios de todas as fases de desenvolvimento e, ao mesmo tempo, adicionar valor ao projeto para o cliente. Uma ferramenta de grande utilidade no âmbito do *Lean Construction* é o *Last Planner*, pulverizado para a fase de desenvolvimento com a proposta de maximizar a produtividade de trabalho, recursos e materiais, melhorando o gerenciamento dos problemas relacionados à variabilidade da construção e suavizando o fluxo de trabalho. Com o uso do *Last Planner* durante o desenvolvimento do projeto, pode-se aprimorar a transparência do projeto por meio de cronogramas, DSM e percentual da conclusão do plano.

Outra forma de colaborar com a melhoria do desenvolvimento do projeto é o uso do *Big Room*, que permite que os diferentes colaboradores do projeto se reúnam no mesmo lugar, troquem informações e solucionem problemas com maior agilidade. Porém, conforme relatos de Tauriainen et al. (2016), para projetos que não possuem uma escala muito grande, como no caso da Finlândia, por exemplo, foi criado o chamado *knotworking*, que consiste basicamente em um encontro agendado para discussão dos pontos críticos do projeto; posteriormente, cada qual retorna ao seu escritório para dar continuidade ao trabalho.

Tauriainen et al. (2016) ainda ressaltam que a utilização do *Big Room* pode causar um aumento do número de horas de trabalho no projeto para a resolução de problemas simples, o que pode ser ineficiente para agregar valor ao produto final. Deve-se, portanto, avaliar o uso desse mecanismo em casos específicos.

2.8.3 Problemas Identificados durante a Integração

Os problemas identificados a seguir foram descritos por Tauruainen et al. (2016) e seguem ilustrados pela Figura 38.

- **Competências relacionadas ao gerenciamento de projeto**

Gerentes de projetos que não têm conhecimento do BIM ou não estão familiarizados com a ferramenta não conseguem avaliar corretamente se o escopo do projeto foi cumprido ou estabelecer o tempo e a magnitude necessários ao desenvolvimento do projeto. Um aspecto de grande importância é a presença de um coordenador BIM, que irá identificar e prevenir quaisquer conflitos de versão de modelos e possíveis problemas de compatibilização entre as disciplinas, e adaptar o cronograma para eventuais modificações.

- **Problemas relacionados à comunicação**

O fluxo de informação deve ser constante e os prazos estabelecidos precisam ser respeitados para que exista harmonia no desenvolvimento do projeto e para que não ocorram interrupções inesperadas, prejudicando o projeto final. Contudo, a comunicação entre os projetistas de diferentes disciplinas normalmente é demorada e a espera pela informação não permite que esses profissionais possam dar continuidade ao projeto.

- **Problemas relacionados às instruções do modelo**

Antes do início do projeto, algumas instruções sobre o modelo devem ser criadas e transmitidas para todas as disciplinas do projeto, incluindo o próprio cliente ou o autor do projeto, e sua apresentação deve ser feita durante a primeira reunião inicial do projeto. Primeiramente, tais instruções devem incluir a versão do *software* utilizado, formatos de arquivos, qual será a frequência de compartilhamento dos arquivos, a posição original do modelo e outros fatores atribuídos à criação do modelo. Posteriormente, deve-se definir o que será incluído no modelo, com equivalência às suas entregas. Por fim, processos especiais relacionados às instruções devem ser publicados e seguidos cuidadosamente.

Figura 38 – Problemas identificados dentro do projeto e sugestões de soluções

| Identificação de problemas | Tipo de problemas | | | | | | Casos | Gravidade | Ferramentas <i>Lean</i> como sugestão para a solução | | | | |
|--|-------------------|-------------|-----------|--------------------------|-------------|-------|-------|-----------|--|-------------|---------------------|--------------|--------|
| | Tecnologia | Comunicação | Instrução | Gerenciamento de projeto | Competência | Geral | | | Big Room | Knotworking | Target value design | Last Planner | Outros |
| Problemas para adquirir dados necessários das outras disciplinas dentro do prazo | | x | | | | | 1,2,3 | principal | x | x | x | x | x |
| Não colaboração entre os projetistas; os problemas eram resolvidos individualmente e não cooperativamente | | x | | | | | 2 | principal | x | x | x | x | |
| Mudanças nos dados dos projetos causa retrabalho | | x | | | | x | 1,2,3 | principal | x | x | | | |
| Instruções de modelação não eram usados em projeto | | | x | | | | 1,2 | principal | | | | | x |
| Instruções adequadas não eram enviadas para evitar fases provisórias ou enviadas com atraso | | | x | | | | 1,2,3 | principal | x | x | | | |
| Instruções provisórias não eram examinadas apropriadamente na fase da execução | | | x | | | | 1 | principal | | | | | x |
| Gerente de projeto não é familiarizado com BIM | | | | x | x | | 1,2,3 | principal | x | | | | |
| Cronograma do projeto é muito justo que não permitia o ótimo desenvolvimento do produto | | | | x | | | 1,2,3 | principal | x | x | x | x | |
| Escopo do modelo definido no contrato não correspondia à realidade ou os projetistas não estavam conscientes do escopo | | | | x | | | 1,2 | principal | x | x | | x | |
| Coordenador BIM não estava definido no contrato | | | | x | x | | 2 | principal | | | | | x |
| Conflito de modelo entre diferentes disciplinas | | | | x | | | 1,2,3 | principal | x | | | | |
| Não há prática de realizar uma conclusão interna ao final do projeto | | | | | | x | 1,2,3 | principal | | | | | x |
| Tempo de resposta entre as disciplinas é muito longo | | x | | | | | 1,2,3 | médio | x | x | x | x | |
| Mudança no modelo arquitetônico que causa um retrabalho | | x | | | | | 2,3 | médio | x | x | x | | x |
| Detalhamento do projeto não era entrega ao setor da construção | | x | | | | | 2 | médio | x | x | | | |
| Cliente não familiarizado com BIM | | | | | | x | 1,2 | médio | | | | | x |
| Mudanças nas necessidades do cliente que causa retrabalho | | | | | | x | 2 | médio | x | x | x | | x |
| Não documentação da revisão do modelo/projeto | x | | | | | x | 2 | médio | | | | | x |

Fonte: Tauriainen et al. (2016), tradução livre da autora

- **Feedback após desenvolvimento de projeto**

É um item de grande importância que permite a análise de todos os pontos que atribuíram valor ao projeto, assim como os que produziram desperdícios, e a possibilidade de solucioná-los nos próximos projetos. O *feedback* após o desenvolvimento de projeto entre todos os agentes envolvidos favorece o compartilhamento de novos métodos de trabalho e os resultados obtidos durante o processo. Da mesma forma, as responsabilidades de um gerente de projeto devem incluir relatórios internos que realcem os objetivos atingidos e os que falharam.

- **Ferramentas de Lean**

Algumas ferramentas utilizadas durante o desenvolvimento de projeto contribuem para aumentar a eficiência e a transparência do projeto. Uma delas é a utilização do sistema *Last Planner*, que permite a compreensão das necessidades e processos de cada participante. Outra ferramenta de grande potencial é a *Target Value Design*, na qual os projetistas atribuem maior atenção aos custos já nas fases iniciais do projeto e há uma contribuição maior do que em um projeto típico. Finalizando, a utilização do *Big Room* melhora o canal de comunicação entre os diversos agentes envolvidos e permite maior fluidez de informações.

2.8.4 Integração do *Lean* com o BIM após a Fase da Construção

Segundo Dave et al. (2013), durante uma construção, as informações são geradas durante cada fase do projeto e, frequentemente, reinseridas ou produzidas durante a transferência entre diferentes etapas e organizações. Normalmente, no final de um projeto, todas as informações são classificadas, arquivadas e entregues ao cliente. No entanto, como a informação é documentada principalmente no papel, esse recurso dificilmente possibilita a sincronização com o sistema de gerenciamento do cliente.

Com o BIM, existe uma oportunidade de vincular informações relacionadas ao *Facility Management* (FM), ou Gerenciamento de Instalações, com o modelo de construção. Isso ajuda a melhorar a visualização do processo de FM e o tempo de resposta em caso de chamadas de manutenção. Porém, ainda de acordo com Dave et al. (2013), os gerentes de instalações precisam lidar com os seguintes problemas:

- Ciclo de vida do equipamento que não está sendo otimizado.
- Garantia e outras informações relacionadas ao produto que não estão prontamente disponíveis.
- Inventário atualizado do equipamento e localização não disponível.

Os processos resultantes são bastante informais e dependem do conhecimento coletado por funcionários experientes sobre as operações das instalações ao longo dos anos. Como resultado, os proprietários do ativo gastam recursos consideráveis em FM, mas não obtêm os resultados necessários. Dessa forma, o fluxo de trabalho do processo BIM permite o registro e a entrega de informações do *as-built*, que podem estar vinculados aos sistemas e processos de gerenciamento de instalações. O modelo deve ser desenvolvido em nível de detalhes suficiente para garantir que ele ofereça suporte à captura de informações conforme os *as-built* (KYMMELL, 2009 apud DAVE et al., 2013).

2.8.5 Conclusão dos Benefícios da Integração do *Lean* e do BIM nas Diferentes Fases

Figura 39 – Benefícios da integração do *Lean* e do BIM



Fonte: Dave et al. (2013), tradução livre da autora

2.9 CAD, CAM e CAE

Segundo Lee (1999), *Computer-Aided Design* (CAD) é a tecnologia que tem por objetivo auxiliar na área da criação, modificação e análise e, conseqüentemente, na otimização do *design*. De forma geral, a principal essência do sistema CAD está em definir a geometria do projeto (*design*), de modo que todas as subatividades consecutivas dependem da finalização dessa tarefa dentro do ciclo do projeto.

Diferentemente, a *Computer-Aided Manufacturing* (CAM) foi criada para dar suporte ao planejamento, ao gerenciamento e ao controle de operação da produção. A área mais madura desse sistema é o controle numérico, ou *numerical control* (NC), técnica empregada para a utilização de instruções programadas para controlar as ferramentas de uma máquina, como cortar, perfurar, girar, entre outras funções (LEE, 1999).

Outra significativa função da CAM é a programação dos robôs que operam na organização da linha de trabalho, seleção e posicionamento de ferramentas para as máquinas NC (LEE, 1999). Como não há informações sobre sua aplicação direta na construção civil, esta autora não se aprofundou nesse tema.

A tecnologia *Computer-Aided Engineering* (CAE), por sua vez, é orientada para a análise das geometrias desenvolvidas pelo CAD, permitindo que o projetista simule e estude como o produto irá se comportar quando construído ou fabricado, para que seu *design* possa ser redefinido e otimizado. As ferramentas do CAE possuem uma vasta gama de *softwares* desenvolvidos para as análises dos produtos (LEE, 1999).

Para Lee (1999), o método mais utilizado na área da engenharia para determinar deformações, transferência de calor, distribuição do campo magnético, fluxo do fluido, entre outras problemáticas que não seriam passíveis de solução se outros métodos fossem empregados, é o *Finite-Element Method* (FEM). Porém, diferentemente do CAD, que se preocupa com a geometria do *design*, o CAE requer que o “modelo abstrato”¹² esteja em um nível bem detalhado para suportar todas as análises. Durante o processo das análises do FEM, existem duas ferramentas

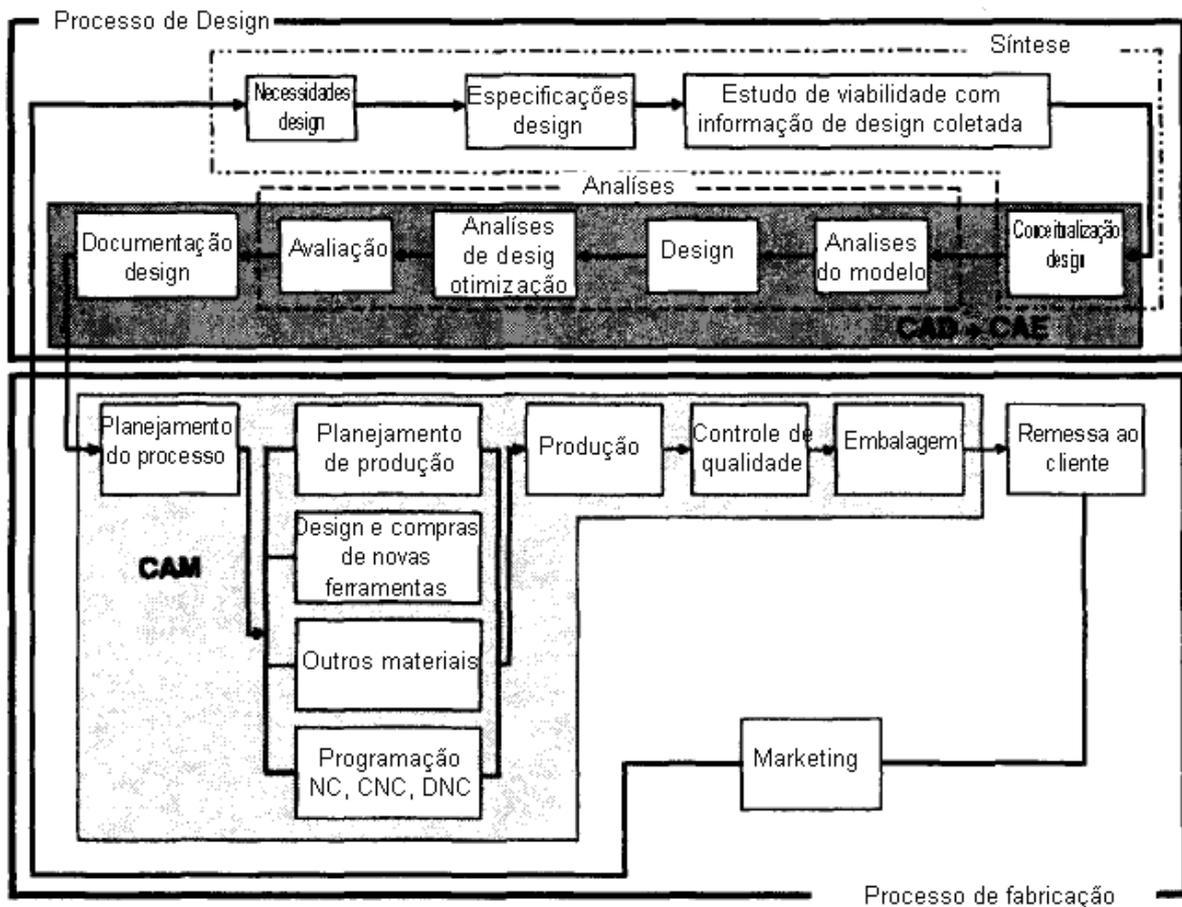
¹² O modelo abstrato é obtido a partir da eliminação de detalhes desnecessários do modelo geométrico ou através da redução das dimensões geométricas do produto (transformação em 3D) (LEE, 1999).

chamadas de pré-processador e pós-processador, que permitem a construção do modelo e a visualização do resultado da análise, respectivamente.

De acordo com o autor, na compreensão dos diferentes sistemas CAD, CAM e CAE, é preciso analisar o ciclo de um produto como um todo, dividindo-o em dois processos: de projeto e de produção. A diferença entre eles caracteriza-se, respectivamente, pela necessidade do cliente e pela finalização da descrição completa do produto, normalmente entregue em forma de desenho. O segundo processo tem início com as devidas especificações do projeto e é finalizado com a entrega do produto (LEE, 1999).

De modo geral, as atividades que envolvem o processo de projeto são classificadas em dois tipos: sínteses e análises.

Figura 40 – Ciclo de vida do projeto com aplicação do CAD, CAM e CAE



Fonte: Lee (1999), tradução livre da autora

Durante o ciclo de vida do projeto (Figura 40), a tecnologia dos sistemas CAD, CAM e CAE é empregada de forma diferente em cada etapa. Conforme apresentado anteriormente, durante o processo de desenvolvimento de projeto (*design*), a fase de análises é a mais acionada devido à limitação dos computadores para suportar informações qualitativas (LEE, 1999).

Logo, pode-se concluir que a principal preocupação dos três sistemas (CAD, CAM e CAE) tem o mesmo fundamento: desenvolver o produto final com mais eficiência e otimização (LEE, 1999). Entretanto, assim como outras ferramentas já analisadas, estas possuem um defeito, pois foram criadas separadamente e, dessa forma, apresentam lacunas quando utilizadas de forma sequencial.

A seguir, a Figura 41 ilustra a integração dos sistemas CAD, CAM e CAE através da base de dados.

Figura 41 – Integração do CAD, CAM e CAE através da base de dados



Fonte: Lee (1999), tradução livre da autora

3. ESTUDO DE CASO

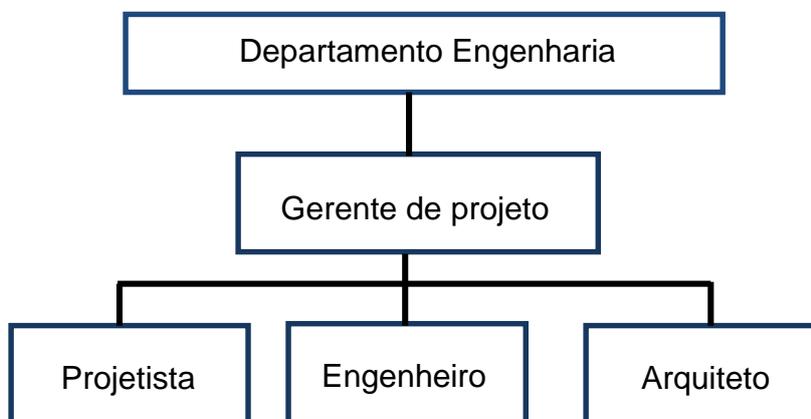
3.1 Empresa Construtora A

A empresa deste estudo de caso é especializada no planejamento e na execução de empreendimentos imobiliários; sua marca representa uma tradição de mais de cinco décadas no mercado de Jundiaí e região: já executou um total de 35 projetos imobiliários e possui mais de 4,5 mil unidades comercializadas. A empresa faz parte de um tradicional grupo jundiaiense, com empresas atuantes em todo o Brasil nas áreas industrial, financeira e comercial.

Os dados foram coletados através de entrevistas, de informações fornecidas pelo entrevistado e de pesquisa no *site* da empresa.

Sua estrutura organizacional no Departamento de Arquitetura não é formal, mas, durante a entrevista, esta autora observou que ele pode ser caracterizado pela da Figura 42.

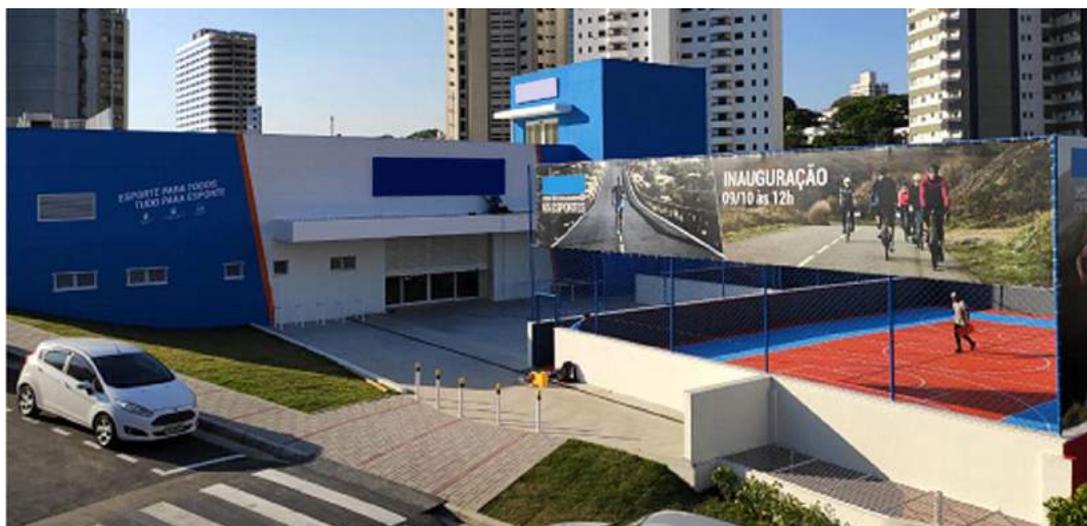
Figura 42 – Organização da empresa



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

A pesquisa em questão analisou o empreendimento de uma grande loja varejista de artigos esportivos que, no momento das entrevistas, encontrava-se em fase de execução. Esse empreendimento, situado na cidade de Jundiaí, conta com um total de 1,7 mil m² construídos (Figura 43).

Figura 43 – Foto da loja inaugurada



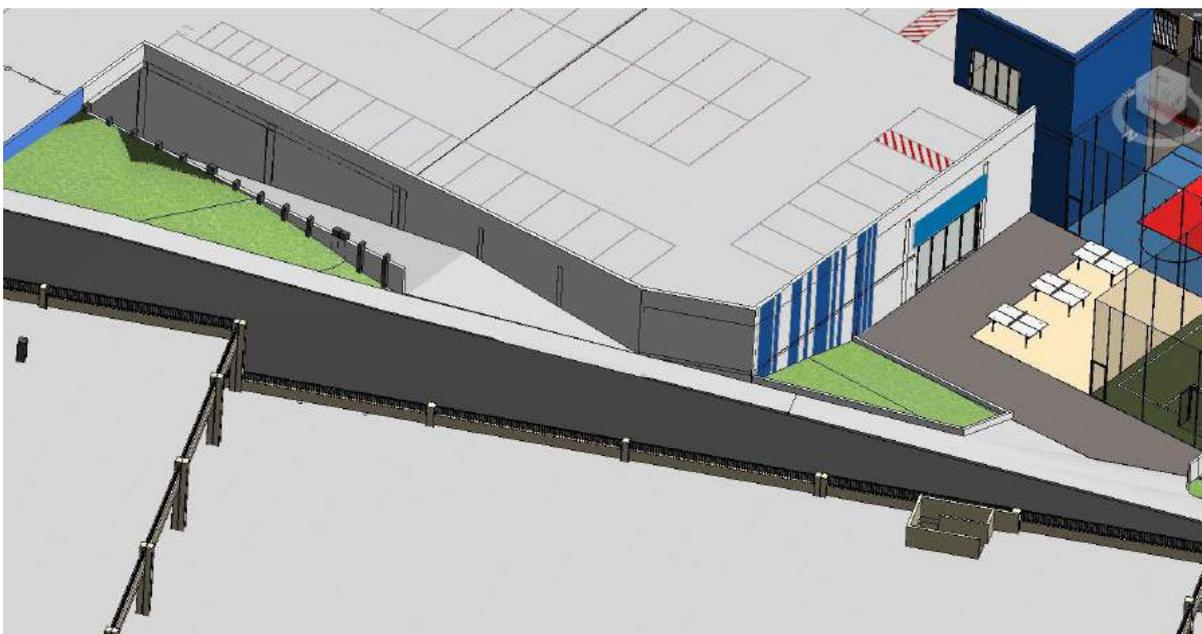
Fonte: Imagem fornecida pelo entrevistado

3.1.1 Fase de Projeto

As informações do projeto foram coletadas por meio de entrevistas, realizadas por Skype e presencialmente, com o gerente de projeto. Segundo o entrevistado, a empresa passou por um processo de treinamento com duração de seis anos para a completa implantação do *software* Revit.

Dessa forma, no desenvolvimento do projeto e de sua concepção, utilizou-se a plataforma BIM atrelada à colaboração de uma equipe interna que desenvolve projetos de arquitetura, tanto executivo quanto legal, paisagismo, luminotécnica, alvenaria, lajes pré-moldadas, instalações hidrossanitárias e terraplenagem. Todas as outras disciplinas do projeto são realizadas por empresas parceiras usuárias da mesma plataforma (Revit), de modo a facilitar a compatibilização dos projetos.

Nos projetos mais antigos, que têm como base a plataforma do AutoCad, os primeiros estudos são desenvolvidos no próprio *software* e, após aprovação, são projetados diretamente na plataforma Revit. Assim, após a realização de visitas técnicas no local da obra, foram observadas algumas modificações diretamente ligadas à continuidade do projeto. De acordo com o entrevistado, como o local abrigava uma loja em funcionamento no pavimento térreo, houve necessidade de despender especial atenção para a estrutura já existente, principalmente para os seus acessos.

Figura 44 – Modelo digital do projeto no *software* Revit

Fonte: Imagem fornecida pelo entrevistado

3.1.2 Pré-Execução

Antes do início das obras, a Empresa A contratou uma firma para gerenciamento e planejamento da obra e que também pratica princípios de *Lean Construction* durante a fase de execução. Com isso, observou-se que os projetos complementares (hidráulica, estruturas, elétrica, etc.) estavam inacabados, impossibilitando o início das obras; no entanto, com a aplicação dos conceitos de *Lean*, foi possível aplicar os conceitos da Engenharia Simultânea conforme apresentado por Fabricio (2002), desenvolvendo simultaneamente todas as disciplinas do projeto com a interação de todos os agentes envolvidos no desenvolvimento, apenas limitando os prazos de cada entrega, o que, conseqüentemente, permitiu a antecipação da conclusão da obra em cinco meses.

É importante ressaltar que, durante as entrevistas, percebeu-se a falta de aplicação dos conceitos e princípios do *Lean Design* durante a fase de desenvolvimento de projeto, mesmo que a empresa apresentasse um alto conhecimento da prática do *Lean Construction* em obra.

3.1.3 Execução

Como já relatado, durante a fase da execução, a empresa que gerenciava a obra reduziu o cronograma em cinco meses apenas com a aplicação dos conceitos e princípios de *Lean Construction*, que, nesse caso, foram executados de acordo com os pontos em comum presentes na obra, definidos em cada andar (Figura 45Figura 46Figura 47).

Figura 45 – Processo de construção da obra



Fonte: Imagem fornecida pelo entrevistado

Figura 46 – Foto da obra



Fonte: Imagem fornecida pelo entrevistado

Figura 47 – Tipo construtivo adotado



Fonte: Imagem fornecida pelo entrevistado

A obra foi dividida por andar e por sequência de trabalho a ser executado. Inicialmente, foram separados todos os serviços a serem realizados em cada andar e agrupados de forma a padronizar as tarefas.

Toda modificação efetuada durante a obra foi repassada para a equipe de Arquitetura para a devida atualização do projeto no escritório. Dessa forma, as equipes de obra e de projeto estavam alinhadas com a progressão e com as últimas versões dos projetos, fator importante tanto nos conceitos do *Lean* quanto do BIM: interdisciplinaridade e colaboração das diferentes equipes.

O cronograma foi baseado em plano de ataque e linhas de balanço, além de reuniões semanais com a equipe de obra, a equipe de gerenciamento e a equipe do projeto para discussão sobre as tarefas a serem realizadas e concluídas. Devido ao fato de os projetos estarem em desenvolvimento durante a fase da obra, muitas reuniões tiveram o objetivo de solucionar problemas recorrentes em obra; logo, nota-se finalidade idêntica à do *Big Room*, já abordado nesta monografia no item 2.8.2 (TAURIAINEN et al., 2016).

A utilização do BIM durante a fase da execução foi essencial para solucionar problemas encontrados na obra. Por exemplo, no decorrer do processo de desenvolvimento do projeto, o acesso ao estacionamento foi modificado e gerou problemas de pé direito insuficiente, que foram solucionados de forma ágil com a

rápida visualização do modelo 3D do projeto, evitando interferências no cronograma da obra.

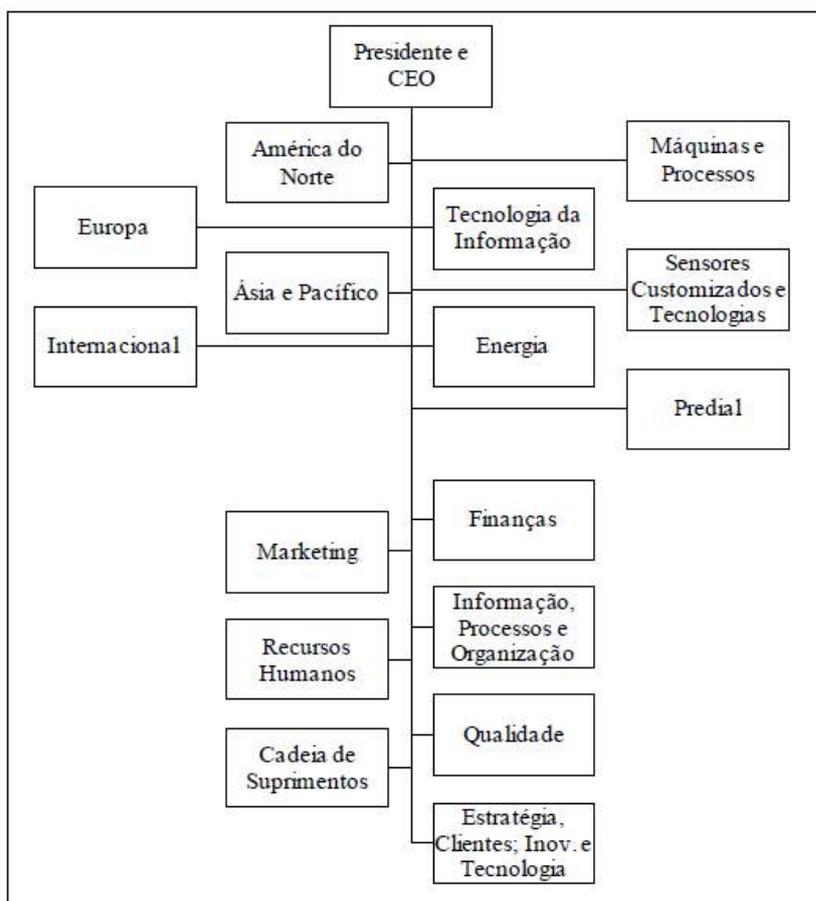
3.2 Empresa B

Esta pesquisa também analisou o sistema de produção de um grupo multinacional francês especializado em produtos e serviços para distribuição elétrica, controle e automação.

A empresa em questão está presente em mais de 190 países e possui em torno de 205 fábricas espalhadas pelo mundo. Seu objetivo é proporcionar os mais elevados níveis tecnológicos, nos setores residencial e industrial, garantindo a qualidade e a segurança nacionais e internacionais de acordo com as principais normas. Seu principal foco é a produção de todos os tipos de equipamentos para a distribuição elétrica (interruptores, quadros elétricos, etc.) e automação, seja para residências ou para indústrias.

Sua estrutura organizacional foi alterada em 2009 em razão de mudanças internas, e houve redução do número de vice-presidências para as áreas de aplicação da companhia (Figura 48 – Estrutura organizacional da empresa). Segundo o material disponibilizado pela empresa, essa transformação buscou aproximar suas aplicações aos mercados nos quais atua: “A estrutura atual da empresa está mais alinhada aos mercados definidos no plano estratégico da companhia do que aos processos de aplicações anteriormente definidos”.

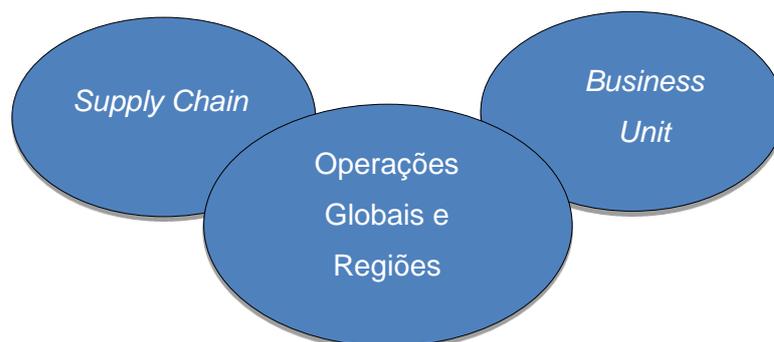
Figura 48 – Estrutura organizacional da empresa



Fonte: Material fornecido pelo entrevistado, documento interno da empresa

Dentro da indústria existe a distinção de três principais blocos: *Supply Chain*, que são os departamentos de compras, usinas, centros de distribuição, transportes, etc.; *Business Unit*, responsável pelo desenvolvimento dos produtos; e as Operações e Regiões, departamento este responsável pelas vendas regionais e internacionais (Figura 49).

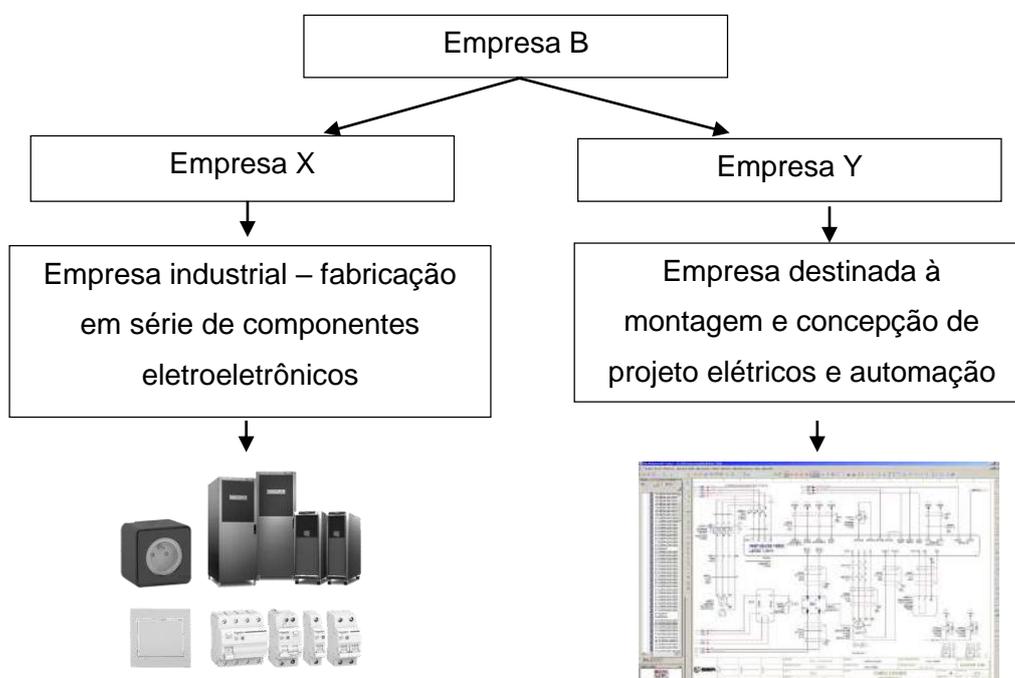
Figura 49 – Estrutura organizacional da Empresa B



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, observou-se que a Empresa B pode ser separada em duas empresas distintas, nomeadas por esta autora de Empresa X e Empresa Y (Figura 50). A primeira é a empresa industrial, que fabrica os componentes eletroeletrônicos (componentes de série); a segunda está orientada para a realização da concepção e desenvolvimento de projetos elétricos e automação (projetos e produtos específicos) para clientes de pequeno a grande porte, conforme será abordado no item 3.2.3, com a introdução da plataforma BIM.

Figura 50 – Estrutura da Empresa B



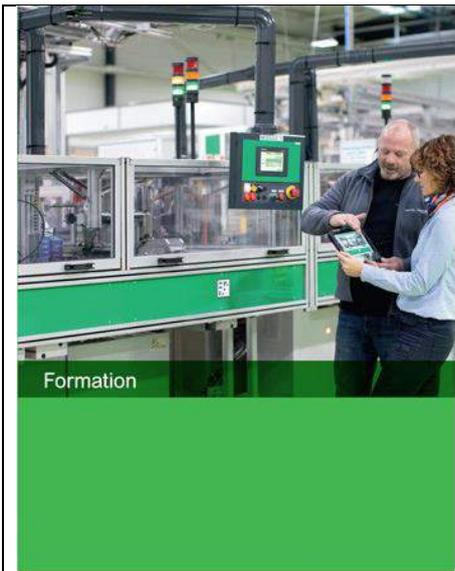
Fonte: Elaborado pela autora (2020)

3.2.1 Aplicação do *Lean Manufacturing* na Produção – Empresa X

Os funcionários com cargo de gerência participam de um treinamento *Lean* que carrega a intenção de apresentar o sistema da empresa e, ao mesmo tempo, incentivar aplicações de melhoria na própria produção. A capacitação tem duração de duas semanas e os colaboradores precisam desenvolver um projeto que identifique os problemas da produção e proponha soluções com os conceitos do *Lean*.

Durante o treinamento, os colaboradores recebem um guia contendo todas as informações importantes dos princípios da empresa, que desenvolveu seu próprio sistema de produção, denominado *Production System (PS)*, com base nos conceitos do *Lean Manufacturing* (Figura 51).

Figura 51 – Guia PS da Empresa B

| | | |
|--|--|--|
|  | | <p>INDEX</p> <p>PREFACE Pag. 4 Pag. 5</p> <p>People Commitment</p> <p>Work Instructions Pag. 7 SIM Communication boards Pag. 9 SIM Meetings Pag. 11 Versatility – Multi-skills Training Pag. 13 5 S Pag. 15 Idea System Pag. 17</p> <p>Product process engineering</p> <p>Lean Manufacturing Pag. 19 Kaizen/Kaizen Blitz Pag. 21 Environment Pag. 23 Safety Pag. 25 Poka Yoke Pag. 27 Ergonomics Pag. 29</p> <p>Management of manufacturing & logistical processes</p> <p>Six Sigma Pag. 31 Kanban Pag. 33 KPI Pag. 35</p> <p>Pag. 2</p> |
|--|--|--|

Fonte: Material fornecido pelo entrevistado

O projeto desenvolvido durante o treinamento do entrevistado "L"¹³ foi melhorar o *layout* do fluxo e a estocagem dos materiais, além de otimizar as saídas e entradas dos produtos. Com essa modificação, estimou-se o retorno do investimento em até dois meses, devido ao aumento da produtividade e da lucratividade da empresa.

¹³ Entrevistado que disponibilizou todas as informações de seu treinamento realizado em 2013 em Estocolmo, Suécia, na Empresa B. À época, ele ocupava o cargo de gerente de projeto industrial.

Segundo o entrevistado, o *layout* apresentava diversos problemas para o fluxo de produção:

- Espaço insuficiente para fluxo de mercadorias com as empilhadeiras
- Falta da utilização do *Kanban* pela fábrica
- Falta de sinalização para o fluxo das mercadorias

As Figuras Figura 52 e Figura 53

Figura 54 demonstram a identificação dos problemas existentes na empresa, o *layout* utilizado à época e o novo *layout*, apresentado ao final da capacitação.

Figura 52 – Fotos para identificação dos problemas



Fonte: Imagens cedidas pelo entrevistado

Figura 53 – *Layout* existente da fábrica

Fonte: Material disponibilizado pelo entrevistado, tradução livre da autora

Figura 54 – Novo *layout* apresentado ao final do treinamento

Fonte: Material disponibilizado pelo entrevistado, tradução livre da autora

Dessa forma, com a otimização dos fluxos e a reestruturação dos setores, originaram-se espaços livres dentro da fábrica que permitiram a reordenação de entrada e saída de produtos. Com isso, além da contribuição das melhorias na produção, foram apresentadas algumas vantagens ao novo sistema:

- Mais espaços para as mercadorias de chegada
- Simplificação dos processos de chegada de materiais – menos etapas
- Melhor utilização de tendas externas, nas quais foram gerados mais espaços no depósito
- Desenvolvimento do novo sistema de embalagem – em forma linear

3.2.2 Aplicação do CAE no Desenvolvimento de Projeto – Empresa X

Conforme análise de Lee (1999), o início da introdução das tecnologias CAD, CAM e CAE teve como principal objetivo aperfeiçoar e otimizar os produtos e seu *design* na fase de desenvolvimento do produto na indústria. Já na área da construção civil, observou-se a evolução do sistema CAD para a plataforma BIM, pois ambos gerenciam a informação no ciclo de vida completo de um empreendimento da construção, através de um banco de informações específico integrado à modelagem do projeto.

Para o desenvolvimento de itens de série, que integram os componentes da Empresa X, utilizam-se *softwares* como o SolidWork; atualmente, a empresa está em transição para a implantação do *software* Creo (Figura 55). Ambas as ferramentas pertencem ao sistema CAD, pois são empregadas no desenvolvimento da concepção da geometria dos componentes de série.

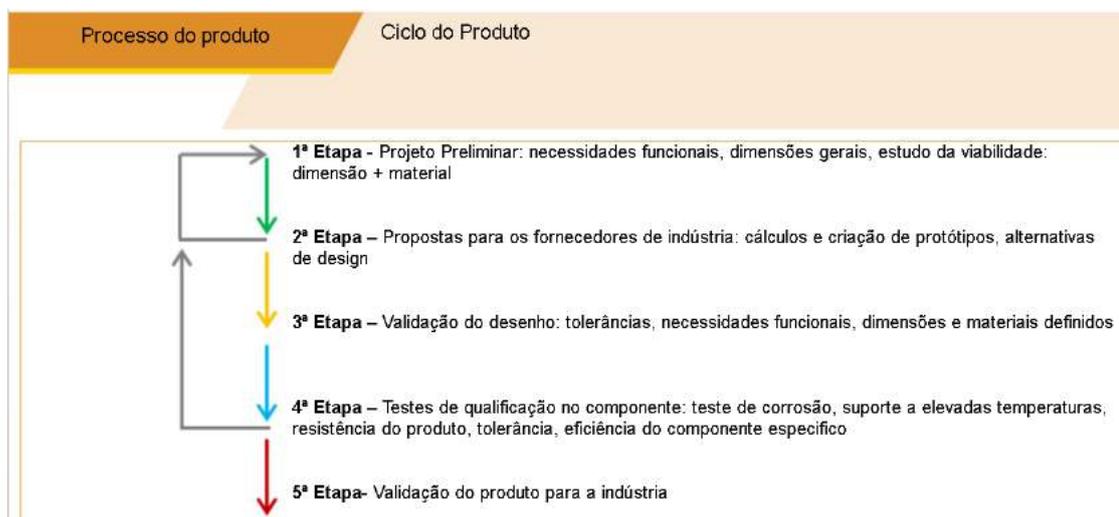
Figura 55 – Software CREO



Fonte: Disponível em: <https://www.ptc.com/en/products/cad/creo>. Acesso em: 20 jan. 2020

O ciclo para desenvolver um componente de série dentro da empresa requer os seguintes processos de *design*, ilustrados pela :

Figura 56 – Ciclo do projeto
Fonte: Material fornecido pelo entrevistado, tradução livre da autora



No ciclo do projeto, nota-se que os princípios analisados por Lee (1999) dentro do sistema CAD e CAE são apresentados nas etapas de produção do componente de série. Durante a fase de testes e análises, emprega-se o método FEM, que permite a avaliação e a otimização dos produtos antes da produção seriada e distribuição aos clientes.

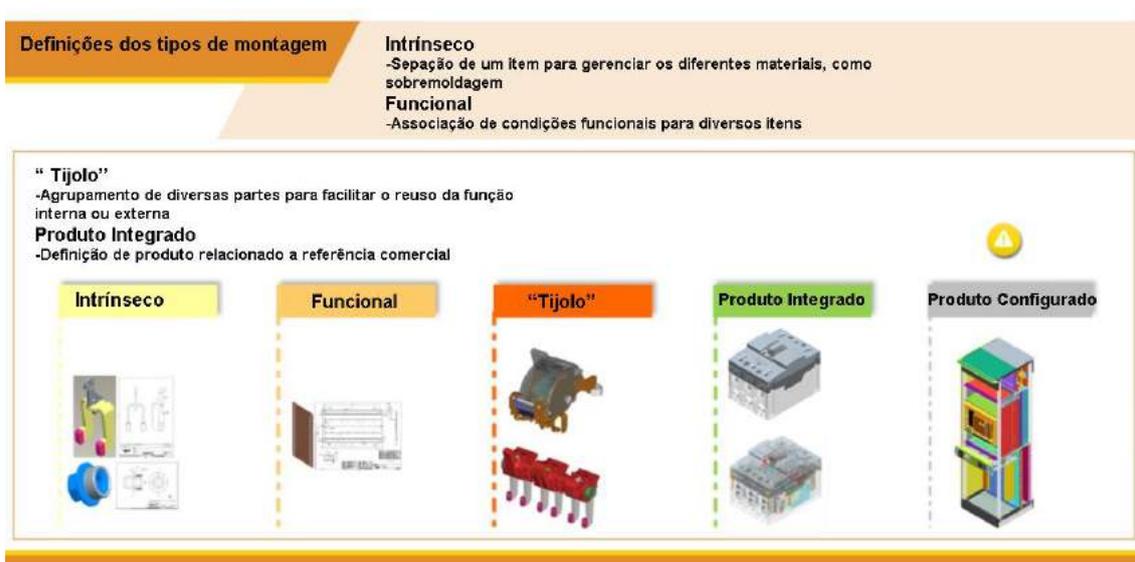
Durante a fase de desenvolvimento, os componentes de série são divididos em três categorias e suas respectivas subcategorias, até o momento de iniciar a produção para a venda, conforme se observa nas Figura 57 e Figura 58.

Figura 57 – Processos do ciclo do projeto (*design*)



Fonte: Material fornecido pelo entrevistado, tradução livre da autora

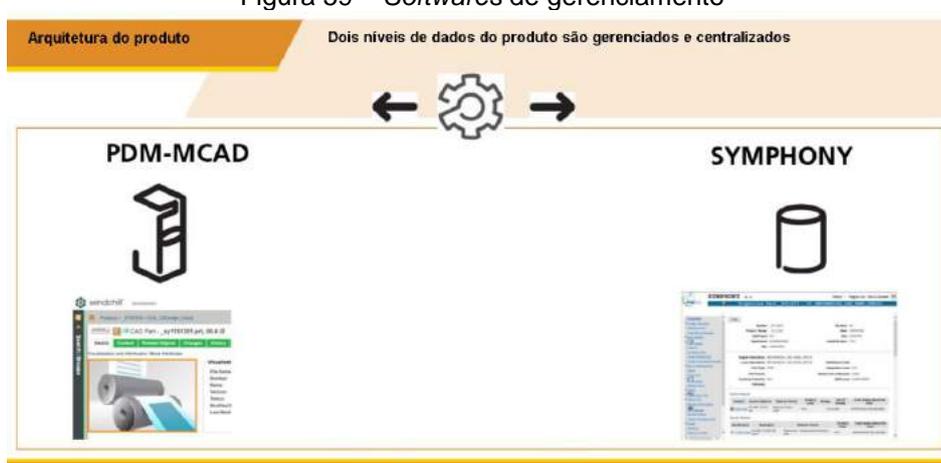
Figura 58 – Processo de montagem de um componente de série



Fonte: Material fornecido pelo entrevistado, tradução livre da autora

Após a integração das peças para a composição dos componentes de série, organizam-se as versões da concepção do *design* com a utilização de duas plataformas de gerenciamento: Windchill e Symphony (Figura 59). O primeiro *software* tem como característica o gerenciamento do ciclo de vida do produto (*Product Lifecycle Management – PLM*) de forma mais rápida e com redução de custos, em razão da facilidade de difundir as informações do produto com todos os colaboradores da empresa, seja na França ou exterior. Já o segundo *software* objetiva armazenar digitalmente todos os componentes em criação.

Figura 59 – Softwares de gerenciamento



Fonte: Material fornecido pelo entrevistado, tradução livre da autora

Com a validação e a liberação da última versão do componente nos *softwares* de gerenciamento mencionados acima, inicia-se o procedimento de simulação com a utilização do *software* Altair Flux™, que testa os critérios de tensão elétrica e de temperatura do produto como um todo.

O Altair Flux™ e seus *plug-ins* possibilita uma abordagem de projetos multidisciplinares e, inclusive, uma simulação na qual os engenheiros da empresa avaliam inúmeras variáveis e a identificação dos parâmetros ideais de projeto para diferentes condições operacionais, de modo que possam ser adaptados segundo as diferentes normas técnicas de cada país.

A empresa realizou uma simulação com um disjuntor, técnica presente nos conceitos do BIM, que deveria analisar, ao mesmo tempo, o eletromagnético, a mecânica, a estratégia de controle e outros requisitos necessários para o ótimo funcionamento do produto. O uso do simulador e seus diversos *plug-ins* possibilitou a melhoria do produto, pois em três configurações de condições de operação, apenas duas estavam satisfatórias.

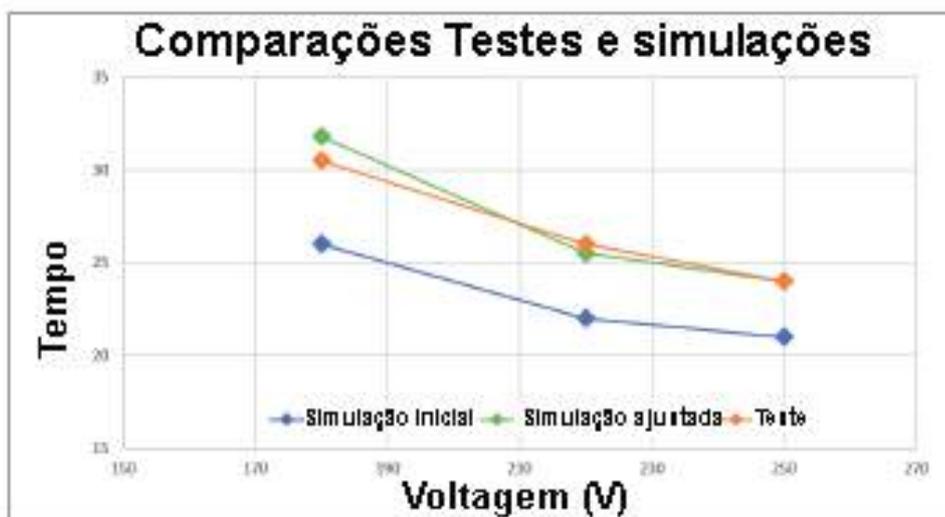
Figura 60 – Projeto do disjuntor



Fonte: Disponível em: <https://www.altair.com>. Acesso em: 20 jan. 2020

Com essa conclusão, os engenheiros tiveram que modificar o produto na sua concepção e incluir um acessório para o seu correto funcionamento. Após as modificações técnicas, o protótipo foi concebido para testes reais, que estavam muito próximos das simulações. Percebe-se novamente a aplicação do método FEM (LEE, 1999) para a otimização do componente de série (Figura 61).

Figura 61 – Comparação de testes e simulações



Fonte: Disponível em: <https://www.altair.com>. Acesso em: 20 jan. 2020

Um segundo uso das plataformas CAD e CAE na empresa estudada envolve o uso do *software* Vistable, que permite o desenvolvimento do *layout* da fábrica baseado nas análises do fluxo de material e fluxo do *design* e seus respectivos espaços necessários para o bom funcionamento da produção. Esse método tem como resultado um *layout* em 2D e em 3D (Figura 62).

Figura 62 – Utilização do Vistable dentro da empresa



Fonte: Material fornecido pelo entrevistado

Outra vertente empregada dentro da produção industrial da empresa é a implantação da realidade virtual, com o *software* Meshroom, cujo objetivo é detalhar a estação de trabalho e, ao mesmo tempo, treinar os funcionários para a otimização da produção (Figura 63).

Figura 63 – Meshroom, implantação da realidade virtual

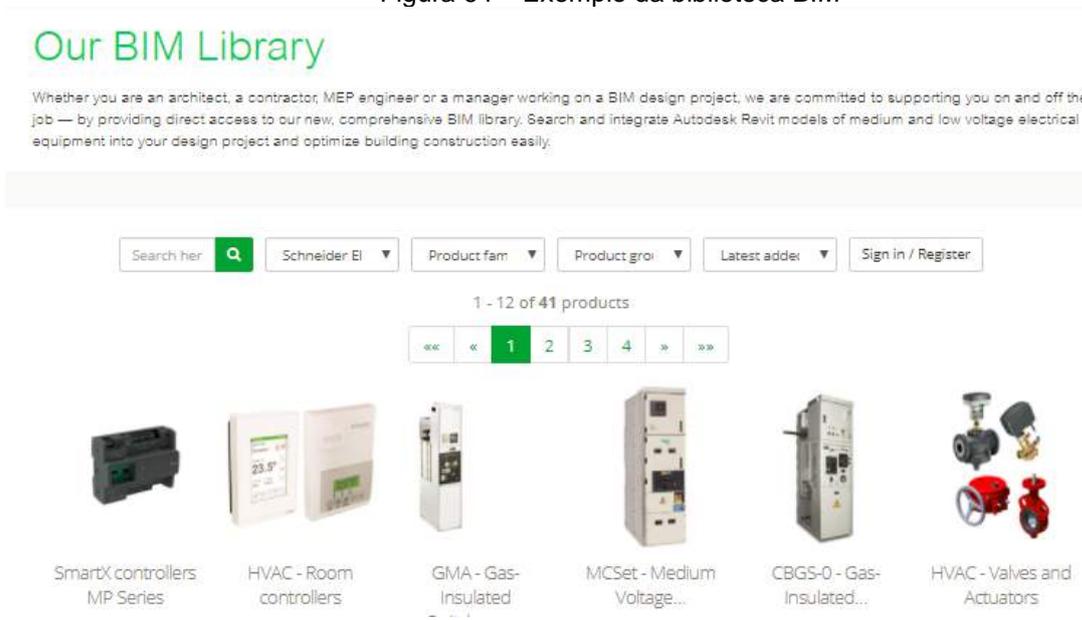


Fonte: Disponível em: <https://meshroomvr.com/meshroom-pro>. Acesso em: 25 jan. 2020

3.2.3 Aplicação do BIM no Produto Final – Empresa Y

Segundo palestra ministrada pelo coordenador BIM, a Empresa Y se encontra atualmente na fase de desenvolvimento da biblioteca de componentes no Revit e de algumas experimentações dentro do *software* e *plug-ins* de ensaios para gestão de energia e automação dentro dos edifícios (Figura 64).

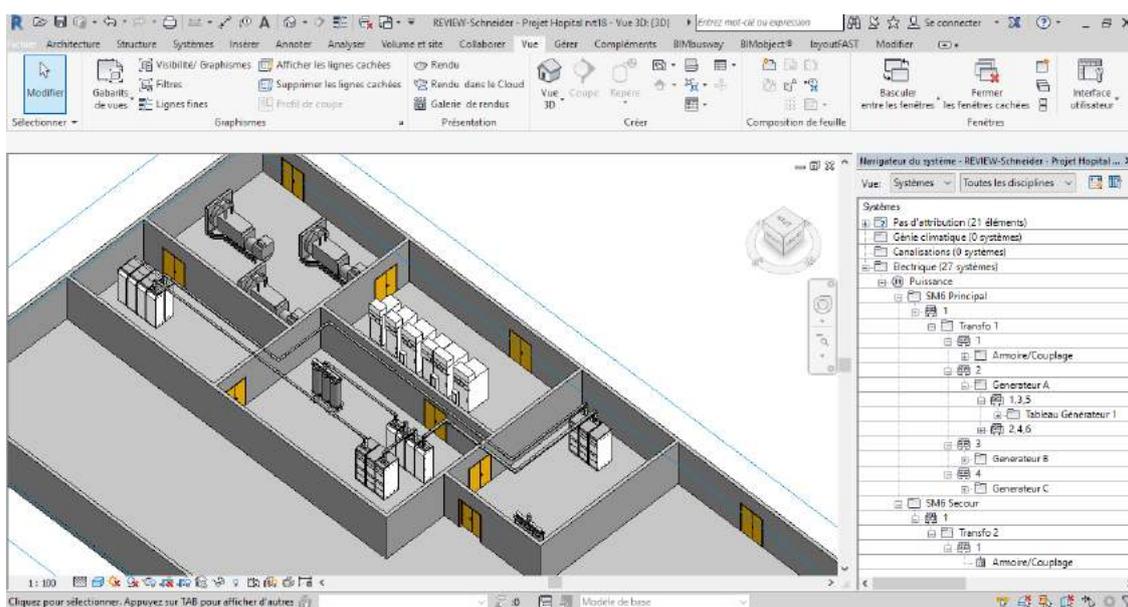
Figura 64 – Exemplo da biblioteca BIM



Fonte: Material fornecido pelo entrevistado

De acordo com o palestrante, atualmente, a empresa auxilia os diversos profissionais do setor da construção a incluir seus produtos diretamente no desenvolvimento de projeto como forma de incentivar a utilização de seus produtos. Além disso, a aplicação dessa técnica permite aos profissionais da área extrair diretamente a tabela quantitativa do projeto.

Figura 65 – Exemplo de edifício que utiliza os componentes da empresa dentro do modelo Revit



Fonte: Seminário do coordenador BIM ministrado em 2018

3.2.4 Boas Práticas Identificadas na Empresa X

Tabela 6 – Boas práticas identificadas na Empresa X

| Princípios <i>Lean Manufacturing</i> | Boas práticas relacionadas aos princípios | Ferramentas e Técnicas |
|---|--|---|
| Foco no valor | Identificação do valor | |
| Liderança forte | Presença de uma hierarquização e definição de um líder para cada setor da indústria e desenvolvimento da visão de liderança | Promoção de treinamento/formações aos funcionários que são direcionados à posição de liderança |
| Equipes de especialistas responsáveis | Diferentes equipes para a produção de um único componente | Promoção de formações voltadas aos aspirantes à posição de liderança |
| Nivelamento da carga de trabalho | Empresa com produção espalhada pelo mundo, definição clara dos departamentos da empresa e repartição de recursos com outro departamento da empresa | |
| Planejamento e controle baseado em eventos meta e responsabilidades | Utilização do sistema <i>Last Planner</i> | Reuniões mensais para discussão do planejamento diretamente com o cliente |
| Transferência cruzada de conhecimento | Banco de dados disponível para toda a equipe e promoção da melhoria contínua no desenvolvimento de componentes | Utilização de <i>softwares</i> de gerenciamento como descritos, Windchill e Symphony, e disponibilização dos resultados obtidos a partir das análises |
| Engenharia Simultânea com múltiplas alternativas | Envolvimento antecipado dos fornecedores para a produção de protótipos e realização de compatibilização de componentes ao mesmo tempo | Utilização da ferramenta <i>Target Value Design</i> e reuniões para discussões de eventuais produtos |
| Integração dos fornecedores | Durante o desenvolvimento do produto (<i>design</i>) envolvimento dos fornecedores e antecipação de custos dos produtos | |
| Gerenciamento da variedade do produto | Criação de padronização de componentes para compor um único produto e padronização de material | Divisão de peças dos componentes para montagem de diferentes produtos |
| Execução de testes rápidos, protótipos e simulações | Testes desenvolvidos durante todo o desenvolvimento do componente | Simulações virtuais por meio de softwares e realização de protótipos para otimização do produto final e aplicação do FEM |
| Padronização do processo | Utilização do mesmo processo para todo o desenvolvimento de um novo produto | Manuais de escopo de projeto definido para cada produto |

Fonte: Elaborado pela autora (2020) a partir de Franco (2016)

3.3 Conclusões dos Estudos de Caso

Com a análise dos estudos de caso, conclui-se que as empresas, mesmo com a enorme diferença de porte existente entre elas, apresentam algumas similaridades de implantação dos princípios do *Lean* e BIM durante o ciclo de vida do projeto (Tabela 7 e 8)¹⁴ e com os seus respectivos graus de desenvolvimento dos conceitos (Tabela 9 e Tabela 10), mas ainda há diversas lacunas na aplicação desses princípios ao longo do projeto. Da mesma maneira, verificam-se alguns ganhos quando *Lean* e BIM são associados, conforme abordagem do subitem 3.3.1.

Tabela 7 – Princípios BIM, Empresas Y e A

| Fases | Princípios BIM | Atividades | Empresa Y | Empresa A | |
|-------------------------------------|---|--|---|-----------|--|
| Design-Desenvolvimento de projeto | Visualização da forma | Avaliação estética e funcional | | | |
| | | Rápida geração de múltiplas alternativas de solução de projeto | | | |
| | Reutilização de dados do modelo para análises preditivas | | Análise preditiva funcional | | |
| | | | Estimativa de custos automatizada | | |
| | | | Avaliação da conformidade do programa e valor do cliente | | |
| | Manutenção da integridade do modelo de informação e projeto | | Única fonte de informação | | |
| | | | Verificação automática de colisões (compatibilização) | | |
| | | Geração automática de desenhos e documentos | | | |
| Design e Fabricação de detalhamento | Colaboração em projeto e construção | Edição multiusuário de um modelo de disciplina única | | | |
| | | Visualização multiusuário de modelos multidisciplinares mesclados ou separados | | | |
| Pré-construção e Construção | Rápida geração e avaliação de alternativas da construção | Geração automática das tarefas da construção | | | |
| | | Simulação dos processos de construção | | | |
| | | Visualização 4D da programação da construção | | | |
| | Online/Comunicação eletrônica | | Visualização do processo | | |
| | | | Comunicação eletrônica do produto e informação do processo | | |
| | | | Fabricação controlada | | |
| | | | Integração com parceiros do projeto (<i>supply chain</i>) | | |
| | | Fornecimento de contexto para coleta de dados do <i>status</i> do local | | | |

Fonte: Elaborado pela autora (2020) a partir de Sacks et al. (2010)

¹⁴ Empresa Y foi analisada apenas com relação aos princípios do *Lean*, pois não utiliza a plataforma BIM na linha de produção.

Tabela 8 – Princípios *Lean*, Empresas X, Y e A

| Áreas | Princípios <i>Lean</i> | | Empresa X | Empresa Y | Empresa A | | |
|---|---|--|-----------|-----------|-----------|---|---|
| Processos de Fluxo | Redução da variabilidade | Obter a qualidade certa na primeira vez | ■ | ■ | ■ | | |
| | | Foco em melhorar a variabilidade do fluxo | | | | | |
| | Redução do tempo de ciclos | Reduzir as durações dos ciclos de produção | | ■ | ■ | | |
| | | Reduzir o inventário | | | | | |
| | Redução do tamanho de lotes | | | ■ | ■ | ■ | |
| | Aumento da flexibilidade | Reduzir as alterações | | | | | |
| | | Utilização de equipes multiespecializadas | | | | | |
| | Seleção da abordagem do controle da produção apropriada | Uso de sistemas de tração | | | ■ | ■ | |
| | | Nivelamento da produção | | | | | |
| | Padronização | | | | ■ | ■ | ■ |
| | Melhoria Contínua | | | | | | |
| | Utilização do gerenciamento visual | Visualização dos métodos de produção | | | | ■ | ■ |
| | | Visualização dos processos de produção | | | | | |
| | Produção do sistema de projeto para fluxo e valor | Simplificação | | | | ■ | ■ |
| | | Utilização de processos paralelos | | | | | |
| Utilização de tecnologia confiável | | | | | | | |
| Garante a capacidade do sistema de produção | | | | | | | |
| Processos de geração de valor | Garante o entendimento abrangente dos requisitos | | ■ | | | ■ | ■ |
| | Foco na seleção do conceito | | | | | | |
| | Garante o fluxo dos requerimentos | | | | | | |
| | Verifica e valida | | | | | | |
| Solução dos problemas | Vai e vê por si mesmo | | ■ | ■ | | ■ | |
| | Decide por consenso, considera todas as opções | | | | | | |
| Desenvolvendo parceiros | Cultiva extensa rede de parceiros | | ■ | ■ | | ■ | |

Fonte: Elaborado pela autora (2020) a partir de Sacks et al. (2010)

Comparando as tabelas com as duas Empresas B, percebe-se que a Empresa X possui um alto grau de conhecimento das conceituações de *Lean* na área da indústria; estes, porém, não estão implantados ou ainda estão em fase de implantação

na área de desenvolvimento de projeto elétrico (Empresa Y). Por outro lado, pode-se concluir que, quando comparadas, ambas as empresas – Y e A – possuem quase o mesmo nível de conhecimento e implantação dos dois conceitos, mostrando que uma empresa brasileira não está atrasada nos critérios *Lean* e BIM e na aplicação de suas atividades na fase de concepção de projeto quando comparada a uma empresa europeia.

Tabela 9 – Grau de desenvolvimento da Empresa Y

| | | <i>Lean</i> | BIM | <i>Lean e BIM</i> |
|------------------|--|-------------|-------|-------------------|
| Fases do projeto | Concepção e desenvolvimento do produto/projeto | Alto | Baixo | Médio |
| | Pré-execução | Baixo | Baixo | Baixo |
| | Execução | Médio | Médio | Baixo |
| | Pós-execução | Médio | Médio | Médio |



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Tabela 10 – Grau de desenvolvimento da Empresa A

| | | <i>Lean</i> | BIM | <i>Lean e BIM</i> |
|------------------|--|-------------|-------|-------------------|
| Fases do projeto | Concepção e desenvolvimento do produto/projeto | Médio | Alto | Médio |
| | Pré-execução | Médio | Médio | Médio |
| | Execução | Alto | Médio | Médio |
| | Pós-execução | Médio | Alto | Médio |



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Finalizando, este item identificou as características apresentadas pela Empresa B no setor da indústria e comparou os pontos importantes que poderiam ser implantados dentro da empresa da área da construção. A comparação desenvolvida envolveu os campos do *Lean* e do BIM, sendo que cada uma apresentou melhorias nas empresas.

Por sua vez, o próximo subitem discorre sobre cada item identificado dentro dos princípios do *Lean* e do BIM nas empresas com o objetivo de melhorar o desenvolvimento de projetos.

3.3.1 Identificação de Melhorias a serem Implementadas no Ciclo do Projeto

Iniciando a classificação pela estrutura e/ou organização da empresa, mesmo que a Empresa A seja considerada estruturalmente menor que a Empresa B no quesito número de funcionários, observa-se a presença de uma hierarquia marcante nas duas, assim como uma forte liderança.

A análise foi separada por questão de **desenvolvimento de projeto, produto final** (edifício ou produto) e **execução**, como mencionado anteriormente. Em relação ao **desenvolvimento de projeto**, a Empresa A desenvolve os novos projetos diretamente dentro da plataforma BIM com a utilização das planilhas de orçamento; estas, contudo, não são retroalimentadas durante o desenvolvimento do projeto e o *target cost*, item importante dentro dos conceitos de *Lean*, não é aplicado (BALLARD, 2006).

Já na Empresa Y, iniciou-se a implantação da plataforma BIM no desenvolvimento de projetos elétricos, começando com a construção da biblioteca dos componentes eletromecânicos que, além de ser acessível ao público, permite e estimula os profissionais do setor a aplicarem diretamente os produtos em seus projetos.

Com relação ao **produto final**, o estudo de caso da Empresa A é uma loja que já tem seus padrões estabelecidos pelo cliente – varejista de artigos esportivos que preestabelecem os conceitos da própria marca. Como consequência, houve uma limitação nas possíveis melhorias empregadas em obra e nas possíveis padronizações de projeto, mas alguns itens puderam ser padronizados, como o tipo construtivo empregado em obra, que permitiu uma aceleração no seu processo e, conseqüentemente, redução no cronograma. Na Empresa Y, pela padronização dos componentes por meio de uma biblioteca digital, as melhorias apresentadas ocorreram no tempo de desenvolvimento de projeto, agregando valor ao projeto final.

Na **fase da execução**, observou-se que a Empresa A possui um desejo de otimizar a obra devido à contratação de uma empresa de gerenciamento, entretanto, esse ainda é considerado um fator de ajuste para cumprimento do prazo estipulado com o cliente, de forma que os problemas encontrados na obra poderiam ser solucionados ou antecipados durante a fase da concepção do projeto, conforme

discutido por Ballard e Zabelle (2000). A Empresa Y ainda está desenvolvendo a implantação da plataforma BIM na concepção de projeto; nenhum projeto que estivesse em fase de execução foi encontrado.

Figura 66 – Comparação dos acertos e equívocos das Empresas A e Y

| | | Desenvolvimento de projeto | | Produto Final | | Execução | |
|-----------|------|---|---|--|---|--|--|
| | | Diagnósticos | | Diagnósticos | | Diagnósticos | |
| | | Acertos | Equívocos | Acertos | Equívocos | Acertos | Equívocos |
| Empresa A | BIM | Novos projetos desenvolvidos diretamente na plataforma BIM Coordenador BIM | Não retroalimentação das planilhas de custos Não realizadas simulações | Retroalimentação do modelo após a obra | Não utilização do modelo digital para aperfeiçoar/adaptar o projeto após “ocupação” | Retroalimentação do modelo após a obra Resolução direta de problemas encontrados durante a obra | Utilização da plataforma BIM como modelagem 3D |
| | LEAN | Não foram encontrados ferramentas ou conceitos de <i>Lean</i> durante o desenvolvimento de projeto | Não aplicação do <i>Target Cost</i> Falta de aplicação dos conceitos <i>Lean Design</i> | Tipo Construtivo empregado e redução do cronograma Loja que apresenta seu próprio conceito | Limitação em melhorias ou padronizações em obra devido às restrições do cliente | Utilização do <i>Lean Construction</i> | Utilização do <i>Lean Construction</i> como fator de ajuste para finalização da obra |
| Empresa Y | BIM | Desenvolvimento da própria biblioteca dos componentes Uso da plataforma BIM Coordenador BIM | Possibilidade de aperfeiçoar os componentes desenvolvidos pela indústria após finalização da biblioteca no <i>software</i> Revit – <i>feedback</i> para área industrial | Retroalimentação do modelo após a execução dos projetos – porém, naquele momento, não havia nenhum projeto em execução | Falta de projeto já executado/construído para observar os métodos aplicados | Não apresentado nenhum projeto em fase de execução | |
| | LEAN | Durante o desenvolvimento do projeto, aplicação de ferramentas e conceitos <i>Lean</i> para otimização dos projetos específicos | Com o modelo desenvolvido na plataforma BIM, possibilidade de redução de custos e desperdícios no projeto Falta de comunicação com a área industrial | Padronização dos componentes Redução de tempo de concepção (<i>design</i>) | Falta de projeto já executado/construído para observar os métodos aplicados | | |

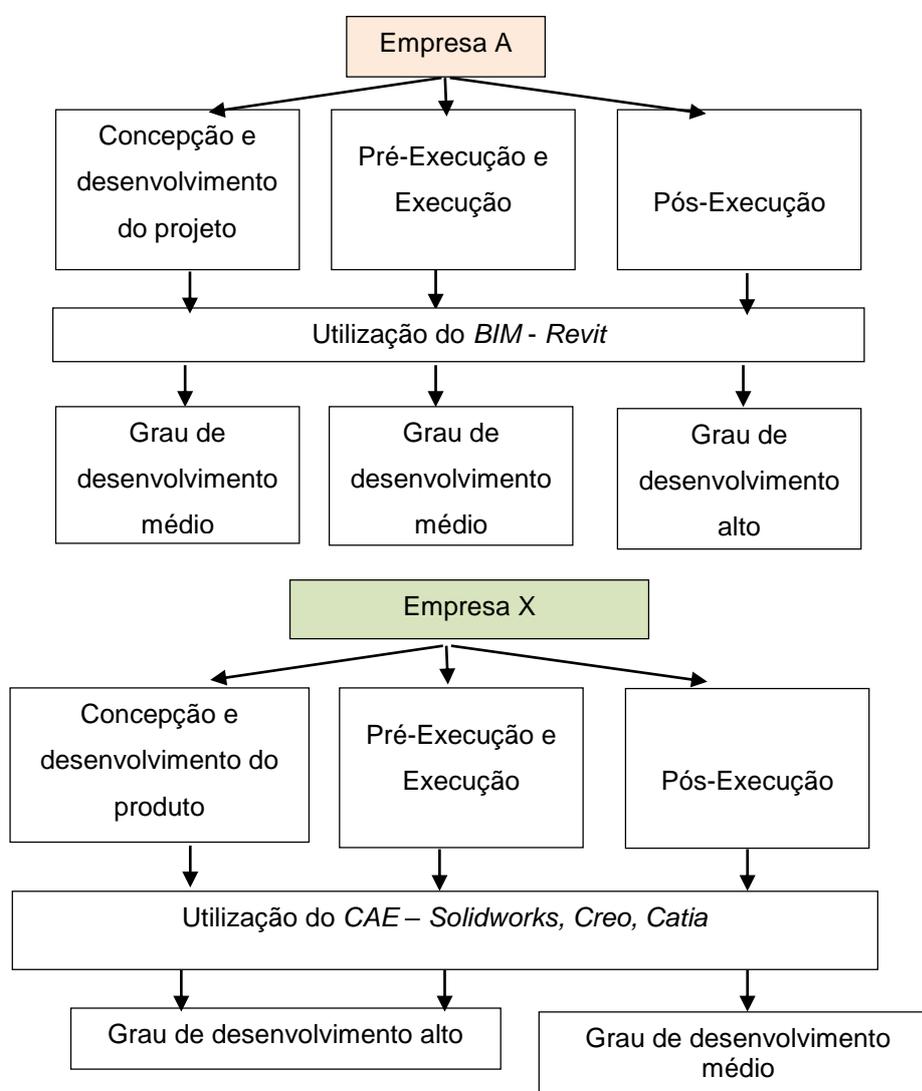
Fonte: Elaborado pela autora (2020)

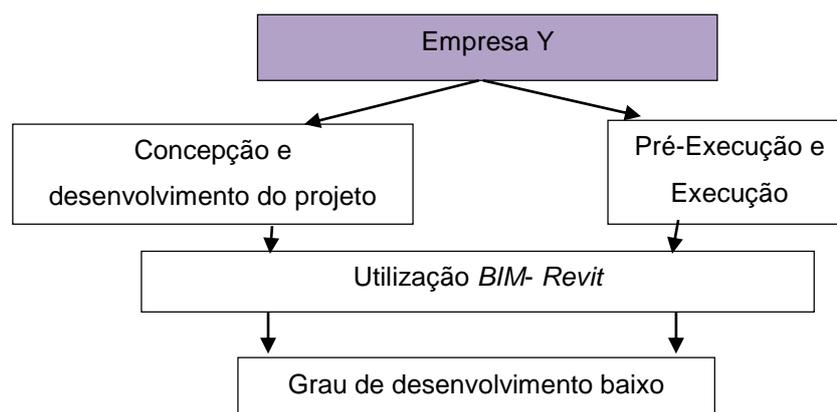
Portanto, observa-se que a integração entre *Lean* e BIM traz alguns benefícios, tais como a redução do ciclo de tempo do projeto, a integração de diferentes equipes de projeto, o aprimoramento do fluxo do desenvolvimento de projeto, a redução da variabilidade dentro do processo de construção e a, conseqüente diminuição de desperdícios dentro dos processos de projeto (SACKS et al., 2010).

3.3.2 Grau de Desenvolvimento *Lean* e BIM nas Empresas

Este subitem identifica o grau de desenvolvimento dos princípios e conceitos do *Lean* e do *BIM* nas Empresas A, X e Y.

Figura 67 – Resumo do ciclo do projeto em cada empresa





Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Com a observação da Figura 67, pode-se concluir que a Empresa Y, mesmo com toda a *expertise* nos princípios do *Lean Manufacturing* e do sistema CAE da Empresa B, apresenta um grau de desenvolvimento no domínio de projeto inferior à Empresa A, mostrando que uma empresa brasileira do setor da construção civil não está atrasada com relação ao nível de desenvolvimento de projeto.

Outra questão de extrema importância é que a Empresa Y iniciou a implantação da ferramenta BIM na área de projetos e produtos específicos com a criação da biblioteca de componentes disponível ao público devido à grande demanda dos profissionais da área. Por outro lado, a Empresa A, mesmo com o treinamento e preparação da sua equipe para a utilização da plataforma BIM, apresentou um médio grau de conhecimento do sistema no processo de desenvolvimento de projeto em razão da grande importância concentrada apenas no *software* Revit, e não nos processos implantados dentro do sistema BIM.

Tabela 11 – Ferramentas utilizadas na Empresa Y

| Fases do projeto | Ferramentas <i>Lean</i> e BIM utilizadas | | | | |
|--|--|--------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|
| | <i>Big Room</i> | <i>Knotworking</i> | <i>Target value design</i> | <i>Last Planner</i> | Coordenador BIM |
| Concepção e desenvolvimento do produto/projeto | X | X | | | X |
| Pré-execução | | | | | X |
| Execução | | | | | |
| Pós-execução | | | | | |

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Tabela 12 – Ferramentas utilizadas Empresa A

| Fases do projeto | Ferramentas <i>Lean</i> e BIM utilizadas | | | | |
|--|--|--------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|
| | <i>Big Room</i> | <i>Knotworking</i> | <i>Target value design</i> | <i>Last Planner</i> | Coordenador BIM |
| Concepção e desenvolvimento do produto/projeto | | | | | X |
| Pré-execução | X | X | | | |
| Execução | X | X | | X | |
| Pós-execução | | | | | |

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

3.3.3 Comparação entre Indústria e Construção Civil

Comparando os processos desenvolvidos dentro da indústria com a construção civil, deve-se levar em consideração e respeitar o dinamismo existente em cada setor. A dinâmica na indústria funciona com a expedição de seu produto até o cliente e possui uma base fixa; em oposição, na construção civil, o produto (obra) é o ponto fixo da empresa e, conseqüentemente, a construtora se movimenta para as obras.

Quando analisados os conceitos dos sistemas CAD e CAE desenvolvidos por Lee (1999) na indústria, percebe-se uma grande evolução no ciclo do projeto/produto. Com isso, foi possível uma comparação no setor da construção civil entre os dois sistemas.

Para o sistema CAD, foram desenvolvidos *softwares* que auxiliaram a forma de projetar, oferecendo agilidade no desenvolvimento de projeto e, conseqüentemente, uma redução de erros. No caso do CAE, nota-se a inclusão de *softwares* que realizam diversos tipos de simulações computacionais no projeto de edificação que testam o comportamento do edifício em diferentes condições ambientais e operacionais, conforme se percebe com o *software* Revit, que será abordado nos próximos parágrafos.

Outra comparação foi realizada por meio das boas práticas da Empresa X (Tabela 6), que verificou alguns princípios que poderiam ser adaptados ao setor da construção civil (Empresas A e Y) com o objetivo de otimizar e agregar valor à concepção e ao gerenciamento de projeto (*design*).

De acordo com a Tabela 6, identificaram-se quatro princípios que reportam uma grande responsabilidade durante o processo de concepção do produto e que garantem a satisfação do cliente no produto final da indústria: simulações virtuais ou físicas (protótipos), ferramenta do *Last Planner*, utilização da ferramenta *Target Value Design* e *Big Room*.

Primeiramente, com as simulações virtuais ou fabricação de protótipos (sistema CAE), a Empresa X mostra uma preocupação em fabricar produtos que tenham uma qualidade garantida pelos fornecedores antes de disponibilizá-los ao público. No contexto da construção civil, isso pode ser “traduzido” com a utilização da plataforma BIM para análise de fatores de conforto ambiental, entre outras verificações importantes e benéficas na fase da execução, conforme ressaltado por Santos (2018).

Além disso, o maior envolvimento dos fornecedores no setor industrial durante o desenvolvimento de projeto permite que o produto seja concebido de forma mais precisa, gerando, por consequência, uma diminuição no retrabalho do projeto. Essa mesma abordagem poderia ser aplicada nos processos da Empresa A, pois a inclusão da equipe de obra durante os processos de concepção de projeto proporcionaria o enriquecimento do projeto e a antecipação dos problemas encontrados em obra, tornando possível a troca de informação direta entre os agentes envolvidos no ciclo de vida do projeto.

Uma forma de definir tipo construtivo ou até mesmo de avaliar o projeto dentro dos padrões LEED ou AQUA abrange uma técnica que poderia ser aplicada pela Empresa A, que utiliza o *Last Planner*, o *Target Value Design* e o *Big Room* apenas na fase da execução; estas, contudo, não beneficiam ou agregam valor ao processo de concepção de projeto.

Por fim, assim como na indústria, a utilização de *softwares* para gerenciamento do ciclo de vida do projeto é adaptada ao setor da construção civil com o Ambiente Comum de Dados (CDE), de acordo com Preidel et al. (2016). Esse mecanismo proporciona a todas as partes envolvidas a transparência no histórico do desenvolvimento de projeto e facilita a comunicação direta e rápida dos projetistas por meio da plataforma digital, diminuindo o tempo de espera durante a concepção do projeto.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como conclusão desta pesquisa, verificou-se primeiramente que, na literatura revisada, foi identificada uma predominância nas publicações internacionais a respeito da integração do *Lean* e do BIM no desenvolvimento de projetos de edificações. No entanto, em sua grande maioria, a abordagem era pontual, sem que houvesse uma visão completa do ciclo do projeto. Da mesma forma, percebe-se uma crescente necessidade da implantação de técnicas ou ferramentas de *Lean* e BIM no desenvolvimento de projetos como forma de obter melhores resultados na construção civil brasileira.

Além disso, analisou-se a escassez da interação de dois conceitos importantes, *Lean* e BIM, presentes na revisão bibliográfica e que possuem um grande potencial para futuras melhorias na concepção do projeto e, conseqüentemente, na sua execução e no produto final.

Por outro lado, uma questão analisada durante o desenvolvimento deste estudo foi a necessidade de adaptar os princípios e ferramentas desenvolvidos no *Lean Manufacturing* para o setor da construção civil, de acordo com a abordagem de Koskela (1992). Dessa forma, percebeu-se que todas as áreas (industrial e construção) precisam estar em constante evolução para alcançar uma boa qualidade e *performance* de projeto.

Sob essa ótica, nota-se uma grande oportunidade para o aprimoramento da forma de desenvolver projetos, que deve contar com a participação da equipe de obra e eventuais fornecedores durante o seu processo de concepção, contribuindo também para a simplificação das metodologias de construção durante o desenvolvimento e a eliminação de etapas na fase de execução, prática esta denominada por Fabricio (2002) como "manufaturabilidade".

Verificou-se ainda que a modalidade de contratação, como a IPD, está diretamente ligada ao ritmo de entrega, que permite um fluxo contínuo nas etapas de projetos estabelecidas pelas empresas.

Por fim, entende-se que o estudo em questão pode evoluir para técnicas de aplicação em empresas brasileiras, destacando que os princípios devem considerar

não apenas conceitos e boas práticas, mas também sua aplicação em todo ciclo de vida do empreendimento para proporcionar melhores resultados.

A presente pesquisa sugere o desenvolvimento de futuros trabalhos no assunto sobre a sinergia dos conceitos *Lean Design* e BIM durante todo o ciclo de vida do projeto devido ao seu alto grau de complexidade e às inúmeras variáveis para a implantação de seus princípios nas empresas brasileiras; da mesma forma, possibilita a evolução para um método de aplicação estruturado em uma empresa de projetos de edificações.

REFERÊNCIAS

- AIA, THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Integrated Project Delivery: a guide**. Version 1, 2007.
- ALARCON, L.; MARDONES, D. **Improving the design-construction interface**, 1998.
- ALUKAL, G.; MANOS, A. **Lean Kaizen: a simplified approach to process improvements**. Milwaukee: Asq Press. 2006.
- BALLARD, G.; KOSKELA, L. On the agenda of design management research. **Proceedings...** 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Guarujá, Brazil, 1998.
- BALLARD, H. G. **THE Last Planner System of Production Control**. 192 p. Tesis for the degree Doctor of Philosophy. Faculty of Engineering of The University of Birmingham. Birmingham, UK, 2000.
- BALLARD, H. G.; ZABELLE, T. **Lean Design: Process, Tools, and Techniques**. 15 p. White Paper #10, Lean Construction Institute. EUA, 2000.
- BALLARD, G.; TOMMELEIN, I.; KOSKELA, L.; HOWELL, G. **Lean construction tools and techniques**. I R. Best, & G. de Valence, Design and Construction: Building in Value (ss. 227-255). Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.
- BALLARD, G. RETHINKING PROJECT DEFINITION IN TERMS OF TARGET COSTING. **Proceedings...** IGLC-14, July, Santiago, Chile. 2006.
- BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. **Método para o uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção em empreendimentos de construção**. In: III Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. Campinas: SBQP TIC, 2013.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION. **PAS 1192-2:2013 Incorporating Corrigendum n. 1 Specification for Information Management for the Capital/Delivery Phase of Construction Projects Using Building Information Modelling**. The British Standards Institution 2013.
- CARNEIRO, S.; VIEIRA, G.; BARROS NETO, J.P. **Lean Design: análise das publicações científicas**. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora, 2012.
- CAVALCANTI, L. O. **A implantação do BIM e a melhoria do processo de projeto na CPTM**. 2018. 102 p. Monografia (Especialização), Universidade de São Paulo, USP, Brasil.
- CBIC. **FUNDAMENTOS BIM – Parte 1: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**. Brasília: Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2016. 1 v.

CBIC. IMPLEMENTAÇÃO BIM – **Parte 2: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**. Brasília: Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2016. 2 v.

CBIC. COLABORAÇÃO E INTEGRAÇÃO BIM – **Parte 3: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**. Brasília: Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2016. 3 v.

CBIC. FLUXOS DE TRABALHO BIM – **Parte 4: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**. Brasília: Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2016. 4 v.

DAL FORNO, A. J.; FORCELLINI, F. A. **Lean Product Development – Principles and Practices**. Product: Management & Development, Vol. 10 nº 2, Dez. 2012.

DAVE, B.; KOSKELA, L.; KIVINIEMI, A.; TZORTZOPOULOS, P.; OWEN, R. **Implementing lean in construction: lean construction and BIM**. CIRIA, 2013.

EASTMAN, C. M.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. (2008). **BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, architects, engineers, contractors, and fabricators**. Wiley, Hoboken, NJ.

EMMITT, S.; SANDER, D.; CHRISTOFFERSEN, A. K. (2004). Implementing value through lean design management. **Proceedings...** 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), (ss. Copenhagen, Denmark).

ESCOLA POLITÉCNICA. **Diretrizes para Apresentação de Dissertações e Teses**. 4. ed. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.poli.usp.br/images/stories/media/download/bibliotecas/DiretrizesTesesDissertacoes.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2017.

FABRÍCIO, M. M. **Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**. São Paulo: POLI-USP, 2002. Originalmente apresentada como tese de doutorado (Doutorado em Engenharia Civil), São Paulo, 2002.

FIALHO, K.; CAMPOS, V.; NETO, J. **Explorando a aplicação dos conceitos Lean Design em Processo de elaboração de projetos**. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção Fortaleza, CE, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2015.

FRANCO, J. V. **Referencial para a aplicação do processo enxuto de desenvolvimento de projetos de edificação**. 2016. 140 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Brasil.

FREIRE, J.; ALARCÓN, L. F. **Achieving lean design process: improvement methodology**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 128, n. 3, p. 248-256, 2002.

GOLDRATT, E. **Critical Chain**. Great Barrington: North River Press, 1997.

HANSEN, G. K.; OLSSON, N. O. **Layered Project–Layered Process: Lean Thinking and Flexible Solutions**. Architectural Engineering and Design Management, 7(2), 70-84. 2011.

IMAI, M. **Kaizen, the Key to Japan's Competitive Success**. New York: Random House Business Division, 1986.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction** (No. 72). Stanford, CA: Stanford University. 1992.

KOSKELA, L.; BALLARD, G.; TANHUANPÄÄ, V. **Towards lean design management**. In: Proceedings of the 5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Gold Coast: IGLC, 1997.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. VTT Technical Research Centre of Finland, 2000.

KOSKELA, L. et al. **The foundations of lean construction**. Design and construction: Building in value, pp. 211-226. 2002

LEE, K. **Principles of CAD/CAM/CAE Systems**. Addison Wesley Longman, 1999.

MANZIONE, L. **Proposição de uma Estrutura Conceitual de Gestão do Processo de Projeto colaborativo com o uso do BIM**. 2013. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARTIN, K.; OSTERLING, M. **The Kaizen event planner: achieving rapid improvement in office, service, and technical environments**. New York: Productivity Press. 2007.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MELHADO, S. B. **Gestão, cooperação e integração para um novo modelo voltado a qualidade do processo de projeto na construção de edifícios**. 2001. Tese (Livre-docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MELHADO, S. B. **Gestão, Cooperação e integração para um novo modelo voltado à qualidade do processo de projeto na construção de edifícios**. 2002. 254 p. Dissertação (Livre-docência), Universidade de São Paulo, USP, Brasil.

MELHADO S. B. et al. **Coordenação de Projetos de Edificações**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005. 115 p.

MIRON, L. I. G. et. al. **Gerenciamento do Processo de Desenvolvimento do Produto em Empreendimento da Construção**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba, Brasil, 2002.

MIRON, L. I. G. **Proposta de Diretrizes para o Gerenciamento dos Requisitos do Cliente em Empreendimentos da Construção**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

MORGAN, J. M.; LIKER, J. K. **Sistema Toyota de Desenvolvimento de Produto: integrando pessoas, processo e tecnologia.** Porto Alegre: Bookman, 2006. 392 p.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala.** Bookman, Porto Alegre, 1997.

ORIHUELA, P.; ORIHUELA, J.; PACHECO, S. **Communication Protocol for Implementation of Target Value Design (TVD) in Building Projects.** Procedia Engineering. 2015.

PREIDEL, C., BORRMANN, A., OBERENDER, C., TRETHERWAY, M. **Seamless Integration of Common Data Environment Access into BIM Authoring Applications: the BIM integration framework.** 2016.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. PMI. **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK).** 5 ed. Project Management Institute, 2013.

RADL, J.; KAISER, J. **Benefits of Implementation of Common Data Environment (CDE) Into Construction Projects.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 471, 2019.

REIFI, M. H.; EMMITT, S.; RUIKAR, K. Developing a conceptual lean briefing process model for lean design management. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 21th. **Proceedings...** Fortaleza: IGLC, 2013.

RISCHMOLLER, L.; ALARCÓN, L. F.; KOSKELA, L. Improving Value Generation in the Design Process of Industrial Projects Using CAVT. **Journal of Management in Engineering**, 22(2), 52-60, 2006.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos.** São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SACKS, R.; KOSKELA, L.; BHARGAV, A.; OWEN D. R. Interaction of Lean and Building Modeling in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, 134 (5) 968.(2010).

SANTOS, E. T. **Introdução ao BIM.** São Paulo: Poli Integra, setembro 2018a. Material didático.

SANTOS, E. T. **Estratégias de Implantação de BIM.** São Paulo: Poli Integra, setembro 2018b. Material didático.

SANTOS, E. T. **BIM: Conceitos fundamentais.** São Paulo: Poli Integra, setembro, 2018c. Material didático.

SANTOS, E. T. **BIM: Coordenação de projetos.** São Paulo: Poli Integra, outubro, 2018d. Material didático.

SHINGO, S. **Sistema toyota de produção: do ponto-de-vista de engenharia de produção.** Porto Alegre: Bookmann, 1996.

SMITH, P. 2014. **BIM & the 5D project cost manager**. Procedia-Social and Behavioral Sciences, Volume 119, pp. 475-484.

SUCCAR, B. 2008. **Episode 06**: A systematic understanding of BIM. 20 jan. 2008. Disponível em: <<https://www.bimthinkspace.com/2008/01/the-bim-episode.html>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

SUCCAR, B. 2008a: **Episode 07**: Understanding BIM nodes (BIM fields). 02 fev. 2008. Disponível em: <<https://www.bimthinkspace.com/2008/02/the-confusion-i.html>>. Acesso em: 20 nov.2019.

SUCCAR, B. 2008b. **Episode 08**: Understanding BIM stage. 02 fev. 2008. Disponível em: <<https://www.bimthinkspace.com/2008/02/the-bim-episode.html>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

SUCCAR, B. 2008c. **Episode 10**: Effectsof BIM on project lifecycle phases. 02 fev. 2008. Disponível em: <<https://www.bimthinkspace.com/2008/11/effects-of-bim-on-project-lifecycle-phases.html>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

SULANKIVI, K.; KÄHKÖNEN, K.; MÄKELÄ, T.; KIVINIEMI, M. 2010. 4D-BIM for construction safety planning. In: CIB World Building Congress, 18 th. **Proceedings...** W099-Special Track, pp. 117-128.

TATUM, C. B. Improving constructibility during conceptual planning. **Journal of construction engineering and management**, v. 113, n.2, p.191-207, June, 1987.

TAURIAINEN, M.; MARTTINEN, P.; DAVE, B.; KOSKELA, L. **The Effects of BIM and Lean Construction on Design Management Practices**. Procedia Engineering 164, p. 567-574. 2016.

TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C. T. Considerations on application of lean construction principles to design management. **Proceedings...** Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), 7th. ss. 335-344. Berkeley, California, 1999.

WOMACK, J.; JONES, D.; ROOS, D. 1990. **A máquina que mudou o mundo**. New York: Free Press.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. 1998. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas**, 4 ed. Rio de Janeiro, Editora Campus Ltda.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: Planejamento e Métodos. 2 ed.Porto Alegre: Bookman. 2001. 200 p.